

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

**Konstrukční řešení polohovacího
manipulátoru pro odstřelovací zařízení.**

***Construction Design of a Positioning
Manipulator for a Blasting Device.***

Student:

Bc. Josef Ovádek

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Ostrava 2010

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Josef Ovádek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T013 Robotika
Téma: **Konstrukční řešení polohovacího manipulátoru pro odstřelovací zařízení**
Construction Design of a Positioning Manipulator for a Blasting Device

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte možnosti situací pro nasazení zásahových robotů při destrukci nebezpečných objektů. Analyzujte možnosti různých typů odstřelovacích zařízení.
2. Navrhněte několik variant konstrukčního řešení polohovacího manipulátoru. Varianty vytvořte v systému Pro/ENGINEER.
3. Hodnotovou analýzou vyberte optimální variantu.
4. Vybranou variantu podrobně zpracujte do formy technického řešení.
5. Vypracujte technickou zprávu a výslednou výpočtovou dokumentaci zpracované varianty. Součástí diplomové práce bude výkres sestavy technického řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. [online] Dostupné z [www: <http://robot.vsb.cz/poradavky-na-prace/>](http://robot.vsb.cz/poradavky-na-prace/)
- [2] SKAŘUPA, J. Kreativita a inovační myšlení v konstruování. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. 230 s. ISBN 978-80-248-1717-0.
- [3] SKAŘUPA, J - MOSTÝN, V. Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů. 1. vydání, Košice: Edice vědecké a odborné literatury – Strojní fakulta TU v Košicích, 2002. s 190. ISBN 80-88622-55-0
- [4] KÁRNIK, L. Servisní roboty - Modely a analýza [online] Dostupné z [www: <http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/index.htm>](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/index.htm)
- [5] TOTA, M. Konstrukční návrh efektoru pro destrukci různých překážek. Ostrava, 2008. Bakalářská práce (Bc.) VŠB-TU-Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



prof. Dr.Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Poděkování

Rád bych touto cestou chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Zdeňku Konečnému, Ph.D. a všem ostatním vyučujícím katedry robototechniky za ochotu a cenné rady při řešení této diplomové práce.

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....
jméno diplomanta

Kopaniny 45

747 24 Chuchelná

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

OVÁDEK J.: *Konstrukční řešení polohovacího manipulátoru pro odstřelovací zařízení.*

Ostrava: Katedra robototechniky, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, Diplomová práce, vedoucí doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Diplomová práce je zaměřena na konstrukční návrh polohovacího manipulátoru pro odstřelovací zařízení. V úvodu této práce je provedena analýza stávajících konstrukcí a možnosti využití destrukčních robotů. Z nabytých poznatků jsou navrženy varianty řešení manipulátoru s paralelní kinematickou strukturou. Z těchto variant je pak vybrána optimální varianta. Tato varianta je dále podrobně zpracována. Jedná se polohovací manipulátor pro odstřelovací zařízení s použitím paralelní kinematické struktury typu tripod, určen pro destrukci nebezpečných objektů.

ANNOTATION OF THESIS

OVÁDEK J.: *Construction Design of a Positioning Manipulator for a Blasting Device.* Ostrava: Department of Robotics Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2010, Thesis, head: Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

The thesis is targeted the construction project of Positioning Manipulator for a Blasting Device. In prefaced by analyzing current construction of robot with blasting device and their possibilities usage. From acquire piece of knowledge are designed variants solution with parallel kinematic structure. Then is choice optimum variants of these variants. Finally, this solution is closely worked up. It is the solution of Positioning Manipulátor for a Blasting Device with parallel kinematic structure - tripod, intended for destruction dangerous objects.

Obsah Diplomové práce

1	Úvod	10
1	Analýza možností a situací pro nasazení zásahových robotů s destrukční funkcí.	11
1.1	Využití zásahových robotů s destrukční funkcí v nebezpečném prostředí.	11
1.2	Využití zásahových robotů s destrukční funkcí pro překonávání překážek.	12
1.2.1	Překážky INDOOR environmentální	12
1.2.2	Překážky INDOOR urbanistické.	13
1.2.3	Překážky OUTDOOR environmentální.	14
1.2.4	Překážky OUTDOOR urbanistické.	14
1.3	Využití zásahových robotů s destrukční funkcí.	15
2	Analýza různých typů odstřelovacích zařízení.	16
2.1.1	Rozstřel automatickými, poloautomatickými zbraněmi.	16
2.1.2	Rozstřel vodními disruptéry.	17
2.1.3	Bezpečnostní vzdálenost odstřelu.	19
3	Analýza paralelní kinematické struktury.	20
3.1	Základní vlastnosti paralelních kinematických struktur	21
3.2	Komponenty pro paralelní kinematické struktury	22
3.2.1	Komponenty pro stavbu kinematických struktur	22
3.2.2	Kulové klouby se třemi stupni volnosti	23
3.2.3	Univerzální klouby se dvěma nebo třemi stupni volnosti	23
3.2.4	Kardanové klouby	24
3.2.5	Konstrukční řešení tyčí paralelních kinematických struktur.	24
3.3	Typy paralelních kinematických struktur.	24
3.3.1	Příklady některých paralelních kinematických struktur.	25
4	Požadavky na konstrukci polohovacího manipulátoru pro odstřelovací zařízení.	26
5	Návrh a výběr variant řešení.	27
5.1	Varianta A	27
5.2	Varianta B	29
5.3	Výběr optimální varianty.	31
5.3.1	Hodnotící kritéria	31
5.3.2	Porovnání kritérií	33
5.3.3	Vyhodnocení kritérií jednotlivých variant	33
5.3.4	Vyhodnocení hodnotové analýzy	34
6	Konstrukční řešení polohovacího manipulátoru pro odstřelovací zařízení.	35
6.1	Konstrukční řešení polohovacího manipulátoru pro odstřelovací zařízení.	35
6.1.1	Konstrukční řešení disrupteru.	36
6.1.2	Konstrukční řešení teleskopických vzpěr.	37

6.1.3	Konstrukční řešení horní plošiny -----	39
6.1.4	Konstrukční řešení spodní plošiny a uložení vzpěry. -----	40
6.1.5	Uložení vzpěry v otočném čepu. -----	41
6.2	Aplikace na podvozek -----	42
6.3	Polohování manipulátoru -----	44
6.3.1	Polohování manipulátoru -----	44
6.3.2	Rotace na podvozku -----	47
6.4	Technické parametry polohovacího manipulátor. -----	49
7	Určení sil a reakcí v polohovacím manipulátoru -----	49
8	Návrh pohonu pro rotaci manipulátorka podvozku. -----	53
9	Pevnostní analýzy. -----	55
9.1	Pevnostní analýza spodní plošiny -----	55
9.2	Pevnostní analýza horní plošiny -----	57
10	Návrh řízení polohovacího manipulátoru. -----	59
11	Montážní postup polohovacího manipulátoru s odstřelovacím zařízením.é desc	63
12	Technickoeekonomické zhodnocení. -----	64
13	Hodnocení a závěr. -----	65
14	Seznam použité literatury. -----	67
15	Seznam příloh. -----	68

Seznam použitého značení

a	mm/s^2	Zrychlení
v	mm/s	Rychlost
t_r	s	Čas rozběhu
I	kg.m^2	Moment setrvačnosti
M_d	N.m	Dynamický moment
F	N	Síla
r	mm	Poloměr
o	mm	Obvod
z	mm	Zdvih
ω	rad/s	Úhlová rychlost
ε	rad/s^2	Úhlové zrychlení

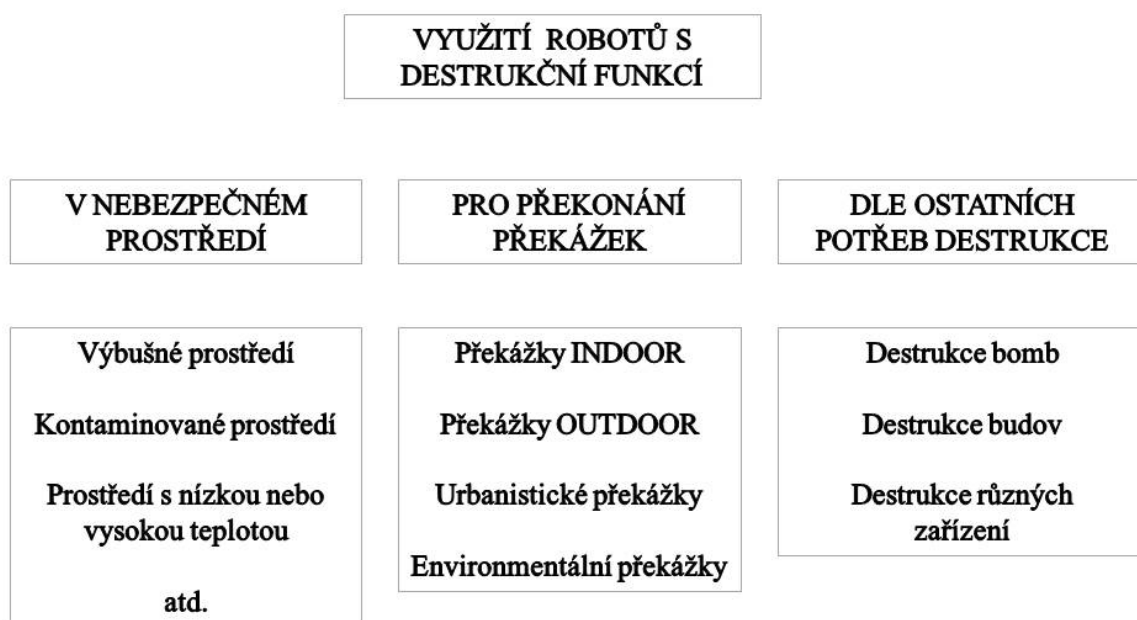
1 Úvod

V posledních několika letech a to hlavně od 11. září 2001, kdy byl uskutečněn teroristický útok na Světové obchodní centrum v New Yorku, se stále více diskutuje o otázce bezpečnosti obyvatel a ochraně před teroristickými útoky. Také proto dochází ve větší míře k rozvoji technologií a různých koncepcí pro ochranu obyvatelstva. To se také týká i robotiky samotné, kde dochází k velkému rozvoji u tzv. servisních zásahových robotů, které jsou určeny k nejrůznějším operacím. Jsou to například monitoring, manipulace s různými nebezpečnými materiálem pro lidi i okolí, hlídání, vojenské operace a v neposlední řadě pyrotechnické operace. Do těchto pyrotechnických operací lze zahrnout i deaktivaci bomb a dokonce dekompozici bomb, nebo různých nebezpečných objektů. Při takové operaci je nutné, aby nedocházelo k ohrožení, jak obyvatel, tak objektů, které je zapotřebí zachovat. Takové servisní roboty jsou ovládány operátorem, nebo pracují zcela samostatně. V praxi dochází k tomu, že po evakuaci servisní robot dorazí k bombě a tu dle potřeby deaktivuje, nebo pokud je nutné, tak bombě odstřelí rozbušku, nebo odstřelí nebezpečný objekt, který je zapotřebí zničit.

Tato diplomová práce je zaměřena na konstrukci polohovacího zařízení pro odstřelovací zařízení (disrupter) s použitím paralelní kinematické struktury. Inspirací byly různé typy používaných paralelních kinematických struktur. Součástí této práce je analýza možností použití pro nasazení zásahových robotů pro destrukci nebezpečných objektů a analýza některých typů odstřelovacích zařízení. Dále následuje navržení variant řešení manipulátoru, určení nejvhodnější varianty a její podrobné technické zpracování.

1 Analýza možností a situací pro nasazení zásahových robotů s destrukční funkcí.

Destrukce překážek na zásahovém robotu je zpravidla jako vedlejší funkce, kdy robot potřebuje např. překonat určitou překážku, nebo je destrukce překážek hlavní funkcí robotu a to pro roboty, které mají za úkol poškodit, nebo zcela zničit daný objekt. Možnosti využití zásahových robotů s destrukční funkcí jsou znázorněny na obr. 1.



Obr. 1 Možnosti využití zásahových robotů s destrukční funkcí.

1.1 Využití zásahových robotů s destrukční funkcí v nebezpečném prostředí.

Výbušné prostředí.

Výbušná prostředí jsou prostředí, kde je větší či menší nebezpečí výbuchu, nebo vzniku požáru. Toto nebezpečí je může být způsobeno například vysokou koncentrací hořlavých, nebo výbušných látek v ovzduší, či nádrži s tekutinou nad bezpečným limitem, nebo

Kontaminované prostředí.

Kontaminované prostředí, je prostředí, kde koncentrace škodlivých látek převyšuje dané limity a kde je nepříznivě ovlivněno lidské zdraví a představuje takový stav znečištění půdy, ovzduší a vody, kde by mohlo lidské zdraví poškodit.

Prostředí ovlivněné teplotou.

Toto prostředí je pro člověka a jeho zdraví nebezpečné hlavně tam kde je vysoká teplota, kde už při nádechu by mohlo dojít k poškození zdraví člověka.

Ostatní nebezpečná prostředí mohou být například prostředí, kde by hrozil úraz, nebo jiné poškození zdraví. Jsou to například špatně dostupná prostředí, kde hrozí pád a apod. nebo prostředí, kde nebezpečí svou činností vytváří sám člověk.

1.2 Využití zásahových robotů s destrukční funkcí pro překonávání překážek.**1.2.1 Překážky INDOOR environmentální**

Vliv klimatických podmínek a přírodních vlivů na činnost robotu v prostředí indoor lze vesměs zanedbat. Patří zde následky působení přírodních živlů, se kterými se musí servisní robot vyrovnat. Jsou to například oheň voda (tekoucí, stojatá), prach, dým zemětřesení. S ohněm a jeho účinky se musí vypořádat především hasící roboty, které jsou z důvodu vnikání do uzavřených hořících budov vybaveny obvykle některou z mechanických technologií destrukce. Pro destrukci rozstřelem u živelných pohrom si mohou roboty například razit cestu rozstřelem dveří. [6]

1.2.2 Překážky INDOOR urbanistické.

Je třeba vycházet z faktu, že interiéry budov nejsou z drtivé většiny stavěny pro pohyb servisních robotů. Vnitřní vybavení budov a místností je největším zdrojem překážek v prostředí indoor.

Patří sem zejména:

- nábytek
- interiéry a vybavení budov
- uzamčené dveře
- vchody, vjezdy
- schody, podesty
- předsíně, zádveří, prahy, zárubně
- šíře a světlost průjezdu okna, výlohy, mříže atd.



*Obr. 2 - Robot HZBOT překonávající
dveře. [1]*

Uzavřené dveře, co by nejčastěji zdolávanou překážku, robot překonává způsobem lišícím se, zda jsou či nejsou uzamčené a zda je možné je bezpečně otevřít, nebo je nutná jejich destrukce. V případě destrukce následuje některá z metod. Může se jednat o mechanické destrukční techniky (odvrtání vložky zámku, rozstřel výplně dveřního křídla, destrukce závěsu dveří, nebo dekompozice výbuchem. Obecné překážky se většinou nezdolávají destrukcí. Destructure se užívá jen v případě, že se nelze manévrem, nebo mobilitou robotu překážce vyhnout. [6]

1.2.3 Překážky OUTDOOR environmentální.

Překonávání překážek v prostředí outdoor souvisí s mobilitou robotu a typu podvozku. Jedná se zejména o překážky typu terénních nerovností (skokové změny výšky, díry), kontaktní povrch (náledí, bláto, spadané listí, sníh). [6]

Překonání přírodní překážky destrukcí v prostředí outdoor je možná například u překážek typu:

- hustý porost
- vysoká tráva, křoviny
- drobné dřeviny

Nicméně ani tyto překážky se většinou nezdolávají destrukcí, jen v případě, že je to nezbytně nutné pro udržení směru, nebo kurzu robotu.

1.2.4 Překážky OUTDOOR urbanistické.

Nejčastěji se jedná o překážky vyskytující se v městech nebo průmyslových objektech.

Jsou to např.:

- schody, obrubníky, vyšší schody
- zídky, ploty
- retardéry, koleje
- uzavřené vchody, vjezdy do budov
- uzamčené automobily
- prostředky osobní dopravy



Obr. 3 - Robot překonávající schod

[2]

Pro překonání překážky destrukcí platí to samé, jako u urbanistických překážek v indoor prostředí.

1.3 Využití zásahových robotů s destrukční funkcí.

Další možností, jak využít dekompoziční funkci robotu je zneškodnění, deaktivace nebo destrukce bomb. Při deaktivaci či zneškodnění bomby se většinou jedná o zneškodnění rozbušky, kde záleží o jakou rozbušku se jedná. Zda jde o elektronickou, či mechanickou, nebo jinou rozbušku. Dle toho se musí přizpůsobit typ střeliva určeného k dekompozici. Je zde také kladen důraz na přesnost polohování robotu, z důvodu přesného zamíření zneškodnění právě jen rozbušky.



Obr. 4- Destrukční robot [3]

Další destrukční činnosti jsou v podstatě dle specifických požadavků, kdy člověk s ohledem na ohrožení svého zdraví nemůže vykonat tuto činnost, nebo je zapotřebí robotické a tím přesné dekompozice.

2 Analýza různých typů odstřelovacích zařízení.

Dekompozici rozstřelem, nejen v robotice využívaný princip destrukce, lze řadit do skupin:

- rozstřel automatickými, poloautomatickými zbraněmi
- rozstřel vodními disruptéry
- rozstřel integrovanými destrukčními systémy

2.1.1 Rozstřel automatickými, poloautomatickými zbraněmi.

Ve shodě s předchozím členěním technologie destrukce rozstřelem Je uváděna robotická aplikace konvenční, poloautomatické brokové střílné zbraně instalované na zásahovém robotu INSPECTOR (obr. 5). [6]

Nesená zbraň je zbavena opěrky, mechanických měřidel, případně části pažby a je umístěna v rámu, který umožňuje bezpečnou a přesnou polohu robotu interaktivními prvky čelisti. Iniciaci střelby provádí obsluha robotu po předchozím vizuálním kontaktu s cílem. Účinný odstřel, ani přesnost střelby se nijak neliší od ruční obsluhy. [6], [11]



Obr. 5 – Robot INSPEKTOR[6]

2.1.2 Rozstřel vodními disruptéry.

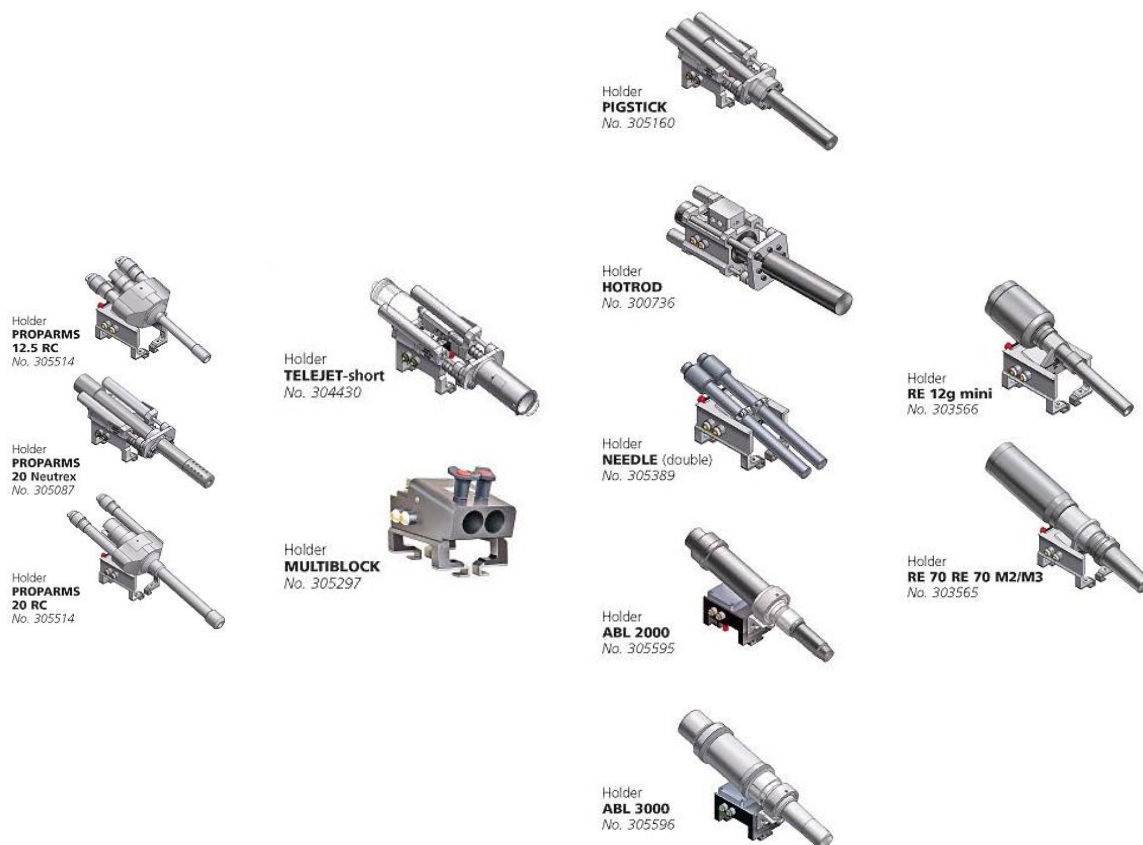
Aplikace vodního disrupteru můžeme například najít na robotu TEODOR firmy Telerob. Tento robot je universální robot pro vojenské, nebo pyrotechnické účely.



Obr. 6 – Robot TEODOR[5]

Na tento robot lze kombinovat nejrůznější typy odstřelovačů. Firma Telerob však využívá disruptéry od firmy Cherming a Proparms, která má v nabídce širokou škálou těchto vodních disruptérů. Na tomto robotu jsou využití odstřelovače znázorněné na obrázku 7.

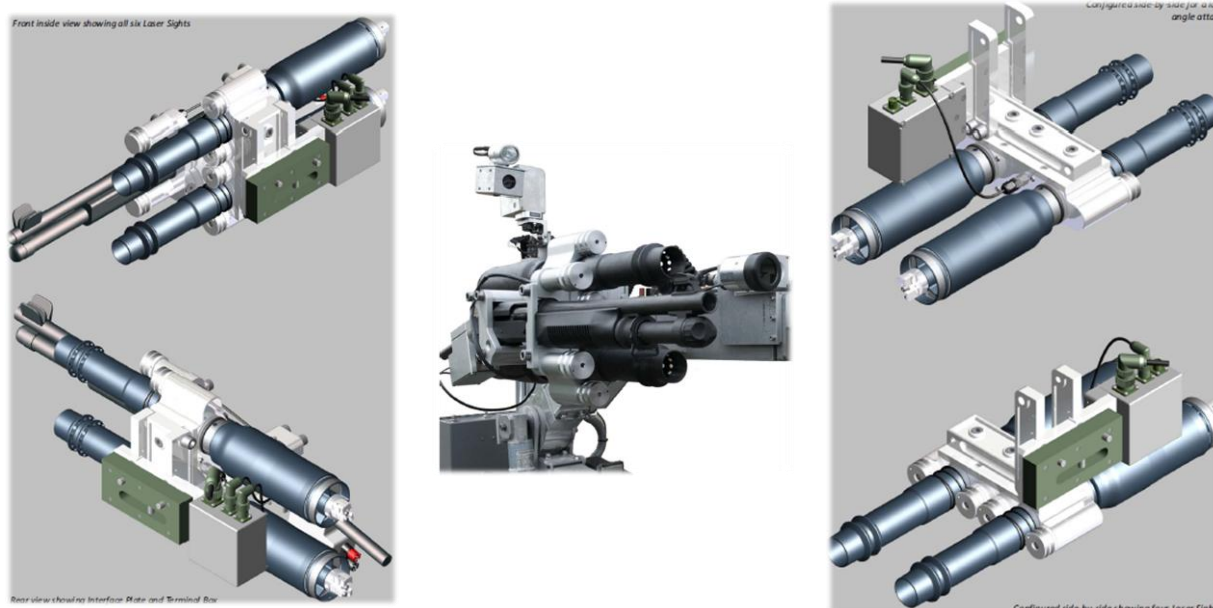
Tyto disruptery jsou zcela bezzákluzové, s kompenzací která redukuje energii zpětného rázu řádově odpovídající $10^5 - 10^6$ J (dle zvolené ráže a typu střeliva, disruptery bez mechanismu absorbujícího zpětný zákluz) na hodnoty řádově odpovídající 10^3 J (při 98% účinnosti). [6], [9]



Obr. 7 – Vodní disruptery použité na robotu TEODOR[5]

K problematice vodních disrupterů a jejich provozu v servisní robotice je nutno dodat, že vodní dělo není konstruováno k opakované střelbě v automatickém nebo poloautomatickém režimu. Disrupter je nutno ručně nabíjet. Tato operace v závislosti na mechanismu trvá cca 2.5min. a vyžaduje proškolenou obsluhu. Další nevýhodou pro obecné nasazení k destrukci různých překážek představuje fakt, že disrupter je primárně určen pro likvidaci elektroniky nástražných systémů. Tomu také odpovídá typ a vlastnosti střeliva. Přesto lze předpokládat, že při střelbě ocelovými projektily a dosahované ústřední rychlosti ne méně než 300 ms^{-1} je jejich průraznost dostatečná k překonání překážek.

Kombinací uvedených brokových zbraní a vodních disrupterů vznikají integrované destrukční systémy spojující výhody střelby poloautomatickou nebo automatickou zbraní s účinky vodního děla. Vývoj těchto systémů zaštiťuje nejčastěji armáda a pro její potřeby nebo potřeby pyrotechnických jednotek také vznikají. Jedná se prakticky vždy o unikátní konstrukci optimalizovanou pro provoz na konkrétním typu servisního robotu. Příklad takovéto konstrukce je odstřelovač od firmy CHerming na obrázku 8. [6], [10], [12]

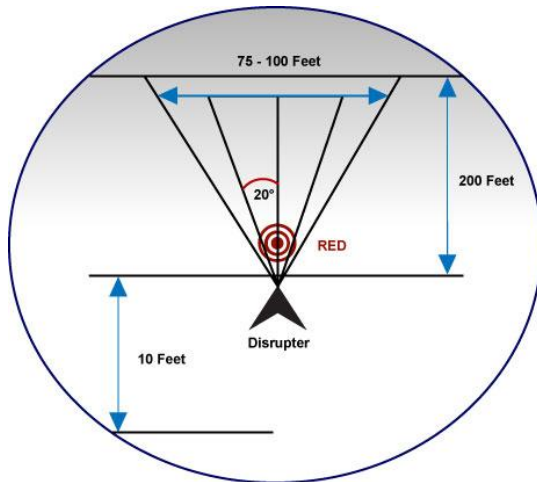


Obr. 8 – Kombinované odstřelovače firmy Cherming. [3]

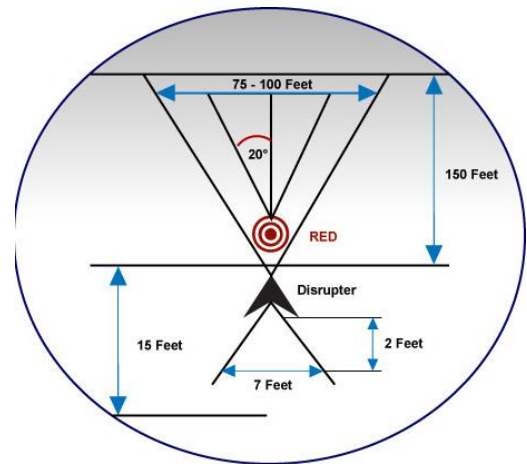
Disruptéry pracují na principu pulzního vodního paprsku, k jehož iniciaci nedochází jako v případě konvenčního VVP. agregátu, ale elektronicky. Ústředí rychlost projektilu se pohybuje okolo 300 – 1000 m/s. Ráže hlavní se pohybují od 10 až do 70 mm a jsou v hladkém provedení, nebo s vývrtem. [6]

2.1.3 Bezpečnostní vzdálenost odstřelu.

Pro bezpečný odstřel je třeba dodržet bezpečnostní vzdálenosti od objektu určeného k destrukci, ale také je důležité dodržení bezpečné vzdálenosti od disrupteru. To může být problém při minutí cíle, nebo nabití střeliva, protože jak již bylo zmíněno, vodní disruptér je zapotřebí nabít ručně proškolenou obsluhou. Bezpečnostní perimetr udává vždy výrobce disrupteru, někdy ke každému typu zvlášť. Při hrozbě minutí cíle se bezpečnostní perimetr zdvojnásobí. Jako příklad je uveden bezpečnostní perimetr pro vodní disruptery se zákluzem (obr. 9) a vodní disrupter bezzákluzový (obr. 10) od firmy Propamrs. [12]



Obr. 9 – Bezpečnostní perimetr
vodního disrupteru se zákluzem fy.
Propamrs. [6]

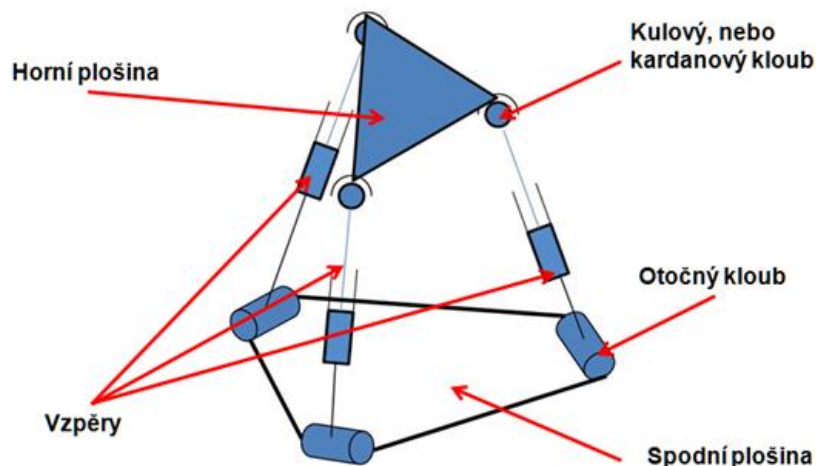


Obr. 10 – Bezpečnostní perimetr
bezzákluzového vodního disrupteru
fy. Propamrs. [6]

Tyto bezpečnostní perimetry jsou pouze informativní, Všechny vzdálenosti jsou pouze informativní a je důležité vyhnout se střele a potencionálním troskám způsobeným destrukcí. Všechny sádelnosti jsou přehnaná k zajištění bezpečnosti. (feet = stopa) [12]

3 Analýza paralelní kinematické struktury.

První konstrukční řešení stroje s paralelní kinematickou strukturou se objevilo před více než padesáti lety. Základem pro tyto stroje je Stewartova plošina publikovaná v roce 1965 D. Stewartem. Jde o upořádání šesti délkově proměnných tyčí spojujících nepohyblivý rám stroje pomocí kardanových nebo kulových kloubů s pohyblivou plošinou. Snaha o snížení pohyblivých hmot a nasazení vysoce dynamických pohonů se stala cílem u nových strojů s paralelní kinematikou (PKM - Parallel Kinematic Machines). V letech 1970 - 1989 bylo neúspěšně vyrobeno několik modelů s touto strukturou, které narážely na technické obtíže. Tyto kinematické struktury se začaly poprvé používat u strojů obráběcích laserovým paprskem. Pro konstrukční řešení takových strojů však musela být vyvinuta také řada nových konstrukčních prvků. [13]



Obr. 11 – Standardní uspořádání par. Kinematické struktury.

Na obrázku 11 je vyobrazeno standardní uspořádání paralelní kinematické struktury, kde mezi spodní a horní plošinou jsou teleskopické vzpěry, které pohybují s horní plošinou a vším co je na ní aplikováno. Spodní plošina je pevně ukotvena. Jednotlivé komponenty jsou popsány v kapitole 3.2 Komponenty pro paralelní kinematické struktury

3.1 Základní vlastnosti paralelních kinematických struktur

„V první řadě je to skutečnost, že aktivní tyče zakončené kulovými nebo kardanovými klouby vylučují ohybové nebo torzní účinky, a přenášejí tak jen tahové a tlakové síly, což dovoluje velmi tuhou konstrukci stroje a vede ke značnému snížení celkové hmotnosti stroje, zejména pak pohyblivých hmot. Na druhé straně je však nutno počítat s náročným řízením polohy, protože realizace i nejjednodušších pohybů vyžaduje změnu polohy všech aktivních tyčí. Každá poloha, které má být dosaženo, je přepočítávána na délkovou změnu tyčí prostorovou transformací souřadnic, jež vypočítává délku každé tyče pro bod daný v kartézských souřadnicích. K tomu všemu je zapotřebí aplikace velmi dokonalého a pokročilého řídicího systému. Také tření v kuličkových šroubech, které se u tyčí často používají, vede k jejich zahřívání a následně k tepelným dilatacím. Značným problémem, především konstrukčním u těchto struktur, jsou geometricky omezené úhlové rozsahy kloubů, které ovlivňují i výsledné chování strojů. Je

zapotřebí vyvinout takové komponenty pro stavbu těchto strojů, aby bylo možné maximálně využít kinematických vlastností geometrického modelu, a tím zvýšit poměr mezi velikostí pracovního prostoru a celkovým objemem stroje, který je u paralelních kinematických struktur nevýhodný.“ [13]

Shrnutí hlavních vlastností.

- Paralelní uspořádání členu
- Nelineární prostorový systém
- Vyšší přesnost polohování
- Větší nároky na řízení
- Stejné provedení komponentů
- Nevýhodný poměr mezi pracovním prostorem a objemem stroje

3.2 Komponenty pro paralelní kinematické struktury

U prvních konstrukcí strojů s paralelní kinematikou se objevily problémy hlavně konstrukční a to v nedostatku komponentů, které by umožňovaly realizovat požadavky kladené na tyto struktury. Vývoj nových komponentů minulého století umožnil prudký rozvoj těchto strojů a jejich realizaci v nejrůznějších variantách pro celou řadu oborů použití. V současné době je kladem důraz na aplikaci několikaletého vývoje a výzkumu kinematických paralelních struktur v průmyslu a to především u obráběcích stroju a v robotice pro nejrůznější použití. [13]

3.2.1 Komponenty pro stavbu kinematických struktur

Jako jedna z prvních firem se firma INA začala zabývat vývojem komponentů pro paralelní kinematické struktury. Podílela se na řadě realizací takovýchto strojů jak ve spolupráci s univerzitami a výzkumnými ústavy, tak i s průmyslovými podniky. Stroje, jako Hexact, Ulyses, Paralix a jiné, byly právě konstruovány s použitím jejich součástí. Svým zákazníkům dnes nabízejí kulové i kardanové klouby a také teleskopické tyče ve dvou rozměrových řadách.

Klouby a tyče jsou jedním z nejdůležitějších komponentů při konstrukci paralelních kinematických struktur. Jsou rozhodujícími elementy, které se podílejí nejvýrazněji na přesnosti stroje. Klouby nejsou zcela novou záležitostí, byly již běžně používány také v automobilovém a

zemědělském průmyslu, avšak požadavky kladené na jejich použití při stavbě těchto strojů jsou dosti odlišné od již používaných aplikací. Jsou to především vysoká tuhost, vysoká statická únosnost, nízká hmotnost, vysoká přesnost, malé opotřebení, dlouhá životnost a v neposlední řadě již zmiňované dostatečně velké úhlové rozsahy.

Pro konstrukci paralelních kinematických struktur je zapotřebí kloubů se dvěma i třemi stupni volnosti. Specifické požadavky na různé aplikace hexapodů vedly k vývoji různých typů. U aplikací pro frézování je zapotřebí dosáhnout maximální tuhosti a přesnosti kloubů, u manipulačních zařízení je zase třeba velkých úhlových rozsahů k získání velkého pracovního prostoru a důležitá je i nízká hmotnost kloubů kvůli možnému velmi rychlému polohování. Všechny požadavky vedly k vývoji tří druhů kloubů. [13]

3.2.2 Kulové klouby se třemi stupni volnosti

Kontakt kuliček v kulovém kloubu představuje v podstatě valivé vedení na kulové ploše. Velký počet malých kuliček, které jsou použity jako valivá tělíska, způsobuje nízké hodnoty Hertzova tlaku mezi vnějším pouzdem kloubu a kuličkami a také mezi kuličkami a spodní kulovou plochou. Avšak tyto příznivé podmínky mohou být dosaženy jen při velmi vysoké geometrické přesnosti kontaktních kulových ploch. Vysoká únosnost a tuhost těchto kloubů ukazuje jednoznačně pro jejich použití u frézovacích strojů. I přes pouze bodový kontakt je dosahována vysoká tuhost nižším předpětím díky příznivému rozložení zatížení. Tyto klouby nabízejí nejvyšší hodnoty tuhosti a únosnosti. Dokonalé těsnění kloubu je nezbytné k jeho dlouhodobé činnosti. [13]

3.2.3 Univerzální klouby se dvěma nebo třemi stupni volnosti

Univerzální kloub je vhodný pro aplikace u manipulačních zařízení. Jeho nízká hmotnost a velké geometrické rozsahy umožňují konstruovat struktury vystavené vysokým zrychlením a rychlostem ve velkých pracovních prostorech. K udržení tuhosti v příslušném úhlovém rozsahu kloubu je limitována koncová poloha kloubu v druhé ose otáčení. Diagram na obrázku ukazuje přípustné úhlové polohy jednotlivých os v závislosti na sobě. Malá opěrná plocha valivých tělísek a použití jehlových ložisek způsobují značné snížení tuhosti v porovnání s kulovými klouby. [13]

3.2.4 Kardanové klouby

Kardanové klouby jsou obvykle používány k přenosu krouticích momentů a spojení hřídelí s osovou výchylkou. U paralelních struktur musí být tahové a tlakové síly zachycovány právě klouby, u nichž je třeba zajistit vysokou tuhost. Pro tento účel byl náboj kloubu optimalizován metodou konečných prvků pro tahové a tlakové zatížení. Použitá ložiska jsou radiálně-axiální jehlová ložiska. Tato ložiska poskytují nejvyšší dosahované tuhosti, mají dokonalé těsnění a jsou dnes standardním prvkem na trhu s valivými ložisky. Kardanové klouby vyplňují mezeru mezi kulovými klouby na straně jedné a univerzálními klouby na druhé. Při vysoké tuhosti dovolují klouby velké úhlové rozsahy. Opět zde však platí diagram omezení úhlových rozsahů zobrazený u univerzálních kloubů. Kardanové klouby jsou vhodné pro použití u velkých pracovních prostorů a požadavcích vyšší tuhosti.

Uvedené klouby pracují v prostředí od -30 do 120 °C a jsou mazány speciálními tuky, kterými jsou naplněny již od výrobce. Po přibližně dvou letech užívání je doporučeno opět klouby namazat. [13]

3.2.5 Konstrukční řešení tyčí paralelních kinematických struktur.

Princip tyče je podobný hydraulickému válci. Vnitřní tubus se posouvá ve vnějším pomocí předepnutého valivého uložení. V závislosti na požadované tuhosti je pohon tubusu řešen kuličkovým nebo planetovým šroubem. Šroub je jednostranně uložen v ložisku. Namáhání plošiny je přenášeno na tahové a tlakové zatížení kloubů. Příčná síla ve valivém vedení se objevuje jen při zrychlování teleskopu. Rozhodujícím faktorem tuhosti tyče je její zdvih. [13]

3.3 Typy paralelních kinematických struktur.

Základní rozdělení paralelních kinematických struktur je dle počtu stupňů volnosti a to na:

- 3 stupně volnosti - TRIPOD
- 6 stupňů volnosti – HEXAPOD
- Více než 6 stupňů volnosti – NANOPOD

3.3.1 Příklady některých paralelních kinematických struktur.

TRIPOD



Obr. 12 – Příklady paralelních kinematických struktur –TRIPOD. [7], [8]

HEXAPOD



Obr. 13 – Příklady paralelních kinematických struktur – HEXAPO. [7] [9]

NANOPOD



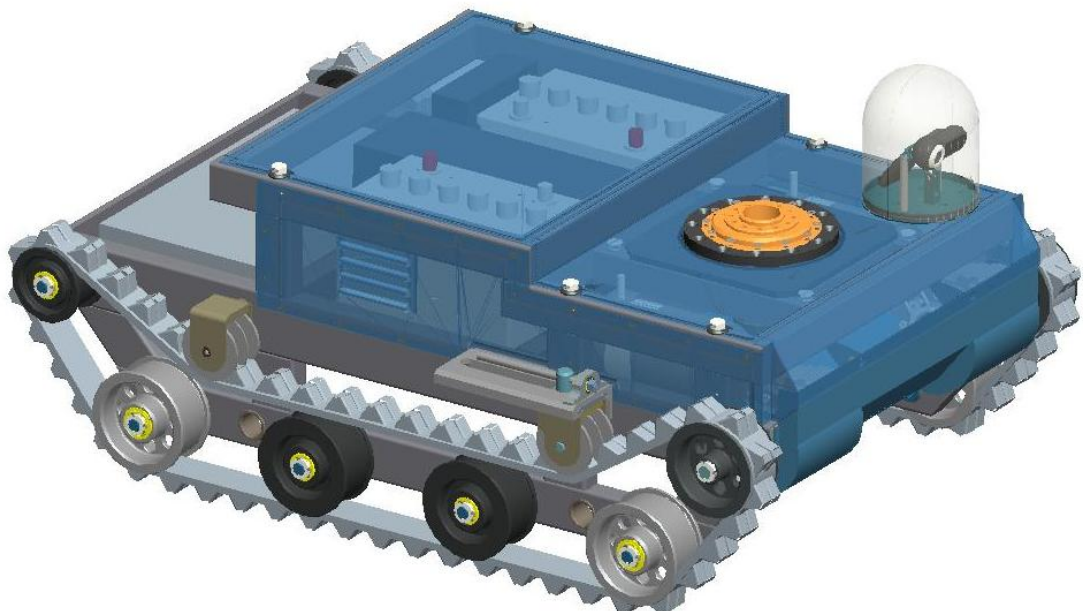
Obr. 14 – Příklady paralelních kinematických struktur –NANOPOD [9]

4 Požadavky na konstrukci polohovacího manipulátoru pro odstřelovací zařízení.

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout polohovací manipulátor pro odstřel nebezpečných objektů s použitím paralelní kinematické struktury. Robotů s destrukční funkcí v současné době není mnoho, nicméně je jejich rozvoj poměrně rychlý. Avšak většina těchto robotů je založena na konstrukčním řešení, kdy je dekompozice vedlejší funkcí robotu a disrupter je jako výměnný efektor. Také proto je polohovací zařízení navrženo s využitím paralelní kinematické struktury, která má větší přesnost polohování, než konvenční kinematické struktury, naopak má nižší celkovou tuhost.

Pro tento typ polohovacího ústrojí byly stanoveny tyto požadavky:

- Paralelní kinematická struktura pro servisní pyrotechnický robot (viz- obr. 15)
(podvozek je vyrobený katedrou Robototechniky VŠB-TUO)



Obr. 15 - Podvozek je vytvořený katedrou Robototechniky VŠB-TUO

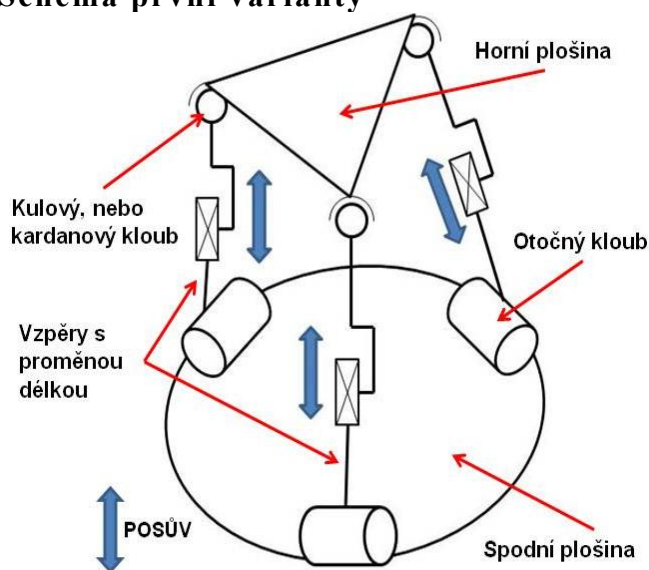
- Typ odstřelovače - brok, nebo vodní paprsek
- Délka dostřelu - 10 m
- Způsob zamíření - Laser
- Rychlost zamíření - 15 s
- Počet stupňů volnosti - 3
- Rozsah pohybu - 30° ve všech osách
- Hmotnost odstřelovače - max. 30 Kg
- Tlumení zpětných rázů

5 Návrh a výběr variant řešení.

Dle zadaných požadavků se zaměřím na konstrukční řešení polohovacího zařízení s paralelní kinematickou strukturou, který bude aplikován na podvozek vyrobený katedrou Robototechniky VŠB-TUO a na polohovací zařízení bude připevněn odstřelovač. Dle předchozí analýzy paralelních kinematických struktur bude pro zadaný polohovací manipulátor dostatečná koncepce se třemi stupni volnosti tzv. tripod.

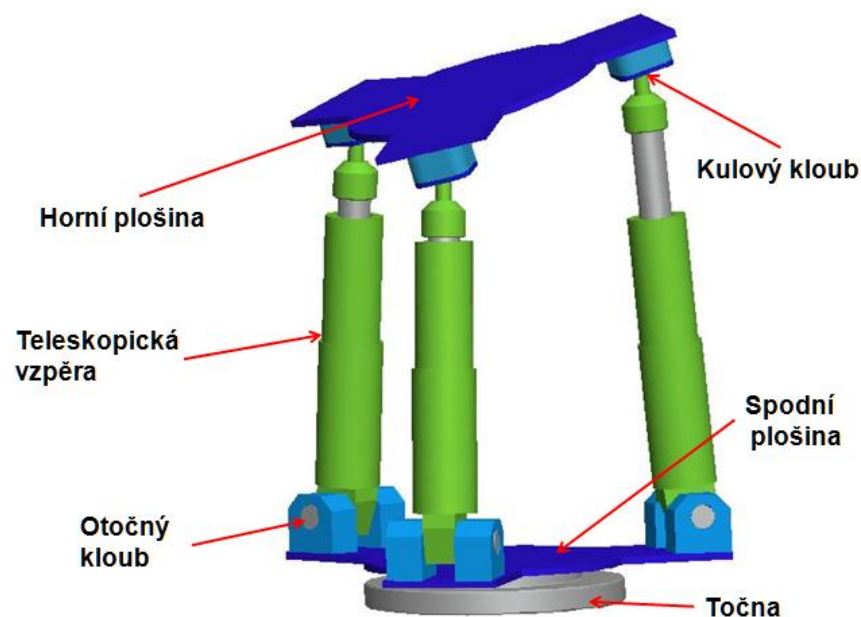
5.1 Varianta A

Schéma první varianty



Obr. 16 – Schéma varianty A

Tato paralelní kinematická struktura se skládá z dvou paralelně uložených plošin, navzájem spojených pomocí vzpěr. Tyto vzpěry jsou teleskopické, tedy mají proměnnou svou délku. Tím je zajištěn pohyb horní plošiny, oproti spodní, která je pevně ukotvena. Jednotlivé vzpěry se mohou vysouvat nezávisle na sobě a tím měnit úhel mezi horní a dolní plošinou. Tyto vzpěry jsou na stejné roztečné kružnici pootočený o 120° a jsou spojeny se spodní plošinou otočným kloubem. S horní plošinou jsou pak teleskopické vzpěry spojeny pomocí kardanových, nebo kulových kloubů. Tyto klouby mají šest stupňů volnosti a pro pohyb horní plošiny jsou tím nezbytné. Otočný kloub má jen jeden stupeň volnosti, který je pro pohyb v paralelní kinematické struktuře se třemi stupni volnosti (tripod) postačující. Toto polohovací zařízení má samo o sobě jen dva stupně volnosti a to natáčení kolem osy x a y. Celé toto polohovací zařízení je usazeno v otočném ložisku a připevněno k robotu. Polohovadlo se pak bude v ložisku natáčet a tím bude zajištěn třetí stupeň volnosti. 3D model je vyobrazen na obrázku 17.



Obr. 17 – 3D model Varianty A

Výhody

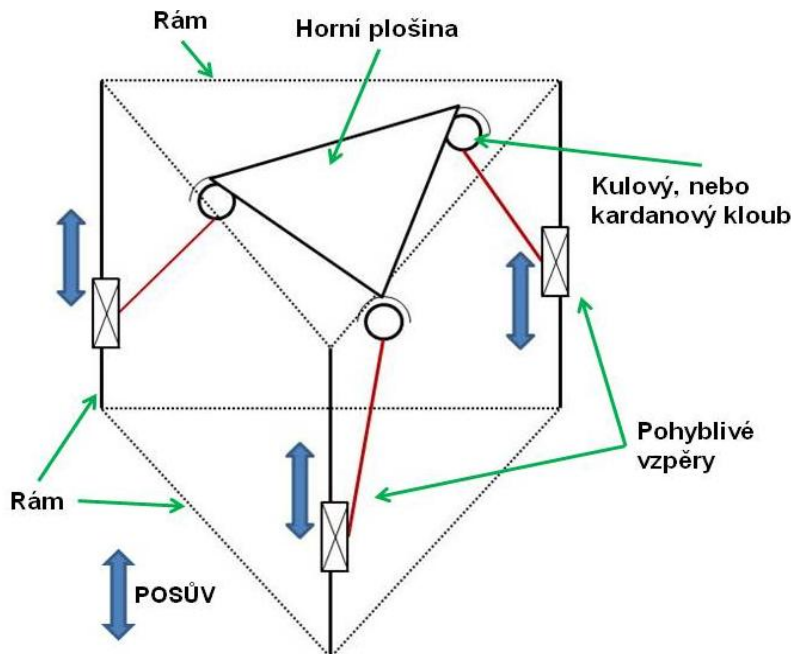
- Rozměry
- Přesnost polohování
- Hmotnost
- Jednoduchost konstrukce

Nevýhody

- Menší tuhost konstrukce

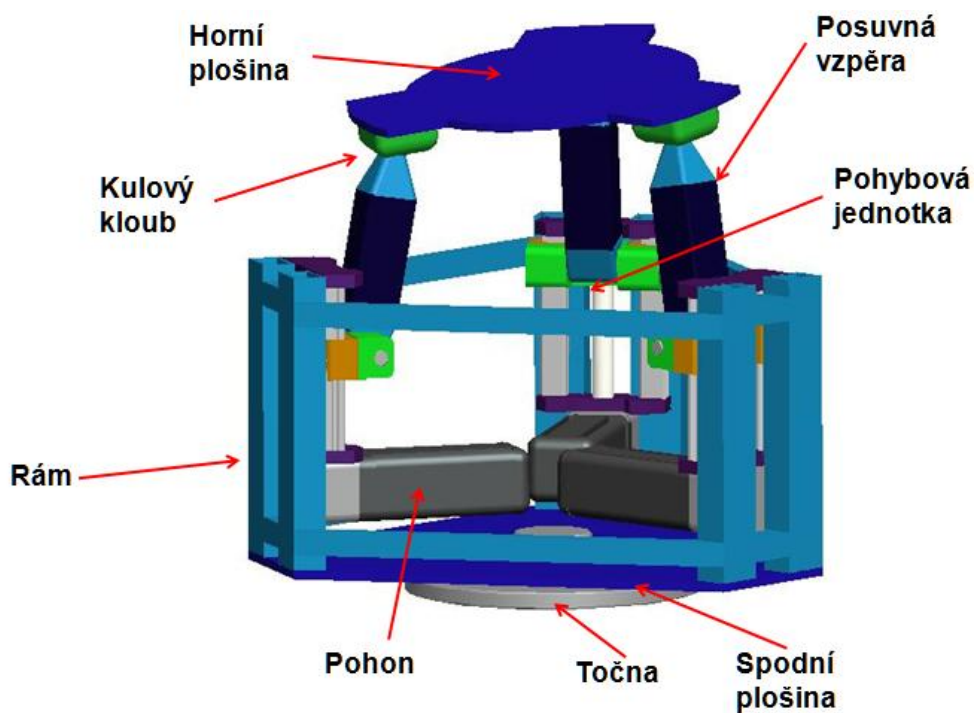
5.2 Varianta B

Schéma první varianty

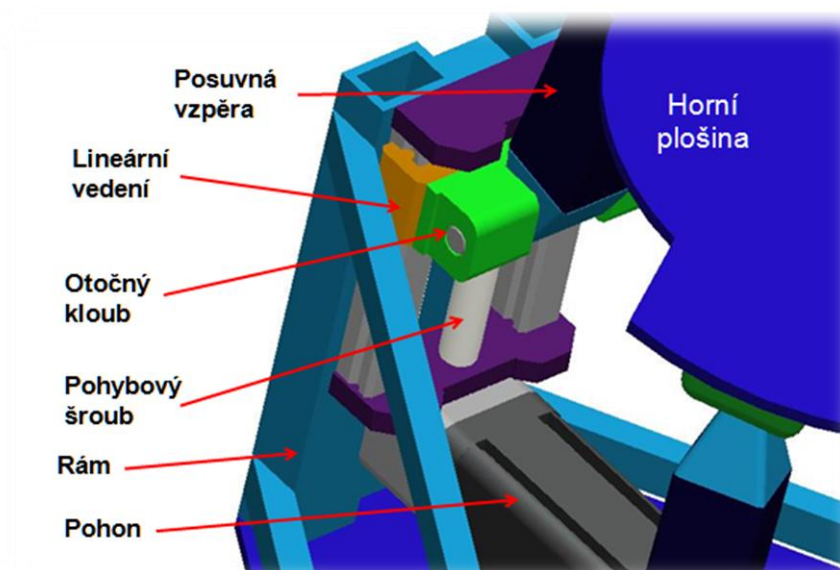


Obr. 18 – Schéma varianty B

Druhá varianta řešení se skládá pouze z jedné plošiny, která je pomocí vzpěr uložena v rámu. Tyto vzpěry jsou na stejné roztečné kružnici pootočený o 120° a jsou spojeny s otočným kloubem, který je spojen s maticí pohybového šroubu a lineárním vedením. Tento šroub s maticí přenáší otáčivý pohyb z motoru na posuvný. Tím je zajištěn vertikální pohyb vzpěr v rámu. Dále je vzpěra uložena v lineárním vedení pro přesnost pohybu a zachycení reakcí vzniklých při pohybu. Jednotlivé vzpěry se mohou posouvat souvat nezávisle na sobě a tím měnit úhel naklonění horní plošiny. S horní plošinou jsou pak teleskopické vzpěry spojeny pomocí kardanových, nebo kulových kloubů. Pro tyto klouby platí to samé jako u varianty A. Taktéž platí to samé pro samotný pohyb plošiny, která se pohybuje jen ve dvou osách. Pohyb v třetí ose zajišťuje točna, která je připevněna k robotu. To zajišťuje potřebné 3 stupně volnosti. 3D model je vyobrazen na obrázku 18.



Obr. 18.1 – 3D model Varianty B



Obr. 18.2 – 3D model Varianty B

Výhody

- Polohovatelnost
- Přesnost polohování
- Vysoká tuhost

Nevýhody

- Hmotnost
- Vetší rozměry

5.3 Výběr optimální varianty.

Pro výběr optimální varianty je použita hodnotová analýza s použitím metody porovnáváním trojúhelníku párů. Při určení hodnot kritérií se vycházelo z požadavků na konstrukci listu a z hlavních vlastností.

5.3.1 Hodnotící kritéria

OZNAČENÍ KRITÉRIA	KRITÉRIUM	CHARAKTERISTIKA	VARIANTA I	VARIANTA II
K1	KONSTRUKCE	<i>Složitost konstrukce, výrobní náročnost</i>	Nízká 5	Střední 3
K2	HMOTNOST	<i>Hmotnost polohovacího manipulátoru</i>	13 kg 4	17.5 kg 3
K3	PŘESNOST POLOHOVÁNÍ	<i>Přesnost polohování manipulátor</i>	Vysoká 5	Vysoká 5
K4	NOSNOST	<i>Nosnost polohovacího manipulátoru</i>	30 kg 5	40 kg 6
K5	VNĚJŠÍ ROZMĚRY	<i>Vnější rozměry polohovacího manipulátoru</i>	Menší rozměry 5	Větší rozměry 3
K6	ROZSAH POHYBU	<i>Rozsah pohybů ve všech osách</i>	Vyhovující 5	Vyhovující 5
K7	RYCHLOST POLOHOVÁNÍ	<i>Rychlost polohování manipulátoru</i>	Střední 4	Vysoká 6
K8	PŘEDBĚŽNÁ CENA	<i>Předběžný odhad ceny</i>	20 000 4	40 000 2
K9	POHON	<i>Typ použitých pohonů</i>	5	4
K10	TUHOST	<i>Tuhost polohovacího manipulátoru</i>	Střední 4	Vysoká 5
K11	MONTÁŽ	<i>Složitost montáže a výroby polohovacího manipulátoru</i>	6	3
K12	ÚDRŽBA	<i>Náročnost na údržbu polohovacího manipulátoru</i>	5	4

Tab. 1 – Hodnotící kritéria

HODNOTY KRITERIÍ	
Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Tab. 2 – Hodnoty kritérií

VÝZNAMNOST KRITERIÍ	
Nejvyšší	2
Nejnižší	1

Tab. 3 – Významnost kritérií.

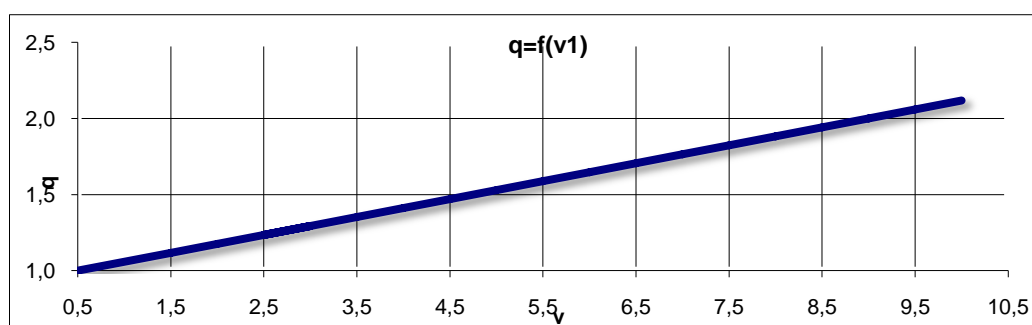
Kritéria byly porovnány, jak již bylo zmíněno metodou porovnáváním trojúhelníku párů. Metoda porovnáváním trojúhelníku párů slouží k určení významnosti kritérií, jsou hodnocena pouze dvě kritéria mezi sebou. Toto řešení je přesnější a jednodušší než kdyby se hodnotila všechna kritéria současně. Nejprve se určí kritéria a jejich hodnota. Do tabulky se poté systematicky seřadí páry kritérií, které se budou navzájem posuzovat. Významnější kritéria jsou označena. V případě, že jsou kritéria stejně významné jsou označeny obě.

Počet voleb v . V případě, že v porovnávaném páru je jedna hodnota významnější je ohodnocena hodnotou jedna, jestliže jsou v porovnávaném páru obě kritéria stejně významné je pak každé ohodnocené hodnotou 0,5. Počet voleb je součet významnosti kritérií.

Pořadí významností kritérií se určí z počtu voleb, kdy nejvyšší hodnotě je přiřazeno první místo, naopak nejnižší hodnotě pak náleží poslední.

Váha významnosti q závisí na počtu voleb. Pro porovnání byla zvolena lineární závislost $q = f(v)$. Stupnice pro váhu významnosti byla zvolena v rozsahu 1 až 2. Počet voleb $v = 2,5$ odpovídá váze významnosti $q = 1$ a počet voleb $v = 10$ odpovídá váze významnosti $q = 2$.

Dle výše zmíněného počtu lze sestavit graf, jenž vyjadřuje závislost počtu voleb v na váze významnosti q . Z grafu lze pak váhu významnosti q odečíst. [6], [7]

Graf. 1 - závislost počtu voleb v na váze významnosti q

5.3.2 Porovnání kritérií

POROVNAVANÉ PÁRY KRYTERIÍ											POČET VOLEB v	POŘADÍ	VÁHA VÝZNAMNOSTI q
K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	8	5	
K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12			1,882
	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	4	4	
	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12			1,412
		K3	K3	K3	K3	K3	K3	K3	K3	K3	6,5	2	
		K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12			1,706
			K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	4,5	3	
			K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12			1,471
				K5	K5	K5	K5	K5	K5	K5	4,5	6	
				K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12			1,471
					K6	K6	K6	K6	K6	K6	10	6	
					K7	K8	K9	K10	K11	K12			2,118
						K7	K7	K7	K7	K7	6	5	
						K8	K9	K10	K11	K12			1,647
							K8	K8	K8	K8	8	1	
							K9	K10	K11	K12			1,882
								K9	K9	K9	3,5	1	
								K10	K11	K12			1,353
									K10	K10	5,5	7	
									K11	K12			1,588
										K11	2,5	7	
										K12	3	1	
													1,235
													1,294

Tab. 4 – Porovnávané páry kritérií

5.3.3 Vyhodnocení kritérií jednotlivých variant

VARIANTA A - (použití teleskopických vzpěr)				
KRITERIUM	HODNOTA	VÁHA VÝZNAMNOSTI KRITÉRIA q	INDEX ZMĚNY I _{ij}	VÁŽENÝ INDEX KRITERIÍ I _{ij} *
K1	5	1,882	5	9,412
K2	4	1,412	4	5,647
K3	5	1,706	5	8,529
K4	5	1,471	5	7,353
K5	5	1,471	5	7,353
K6	5	2,118	5	10,588
K7	4	1,647	4	6,588
K8	4	1,882	4	7,529
K9	5	1,353	5	6,765
K10	4	1,588	4	6,353
K11	6	1,235	6	7,412
K12	5	1,294	5	6,471
CELKOVÝ SOUČET VÁŽENÝCH INDEXŮ I _{ij} *				90,000
VARIANTY A				

Tab. 5 – Varianta A

VARIANTA C (OZUBENÁ KOLA)				
KRITERIUM	HODNOTA	VÁHA VÝZNAMNOSTI KRITÉRIA q	INDEX ZMĚNY I _{ij}	VÁŽENÝ INDEX KRITERIÍ I _{ij} *
K1	2	1,882	2	3,764705882
K2	6	1,411764706	6	8,470588235
K3	6	1,706	6	10,235
K4	6	1,471	6	8,824
K5	4	1,471	4	5,882
K6	4	2,118	4	8,471
K7	2	1,647	2	3,294
K8	5	1,882	5	9,412
K9	5	1,353	5	6,765
K10	2	1,588	2	3,176
K11	5	1,235	5	6,176
K12	4	1,294	4	5,176
CELKOVÝ SOUČET VÁŽENÝCH INDEXŮ I _{ij} * VARIANTY C				79,647

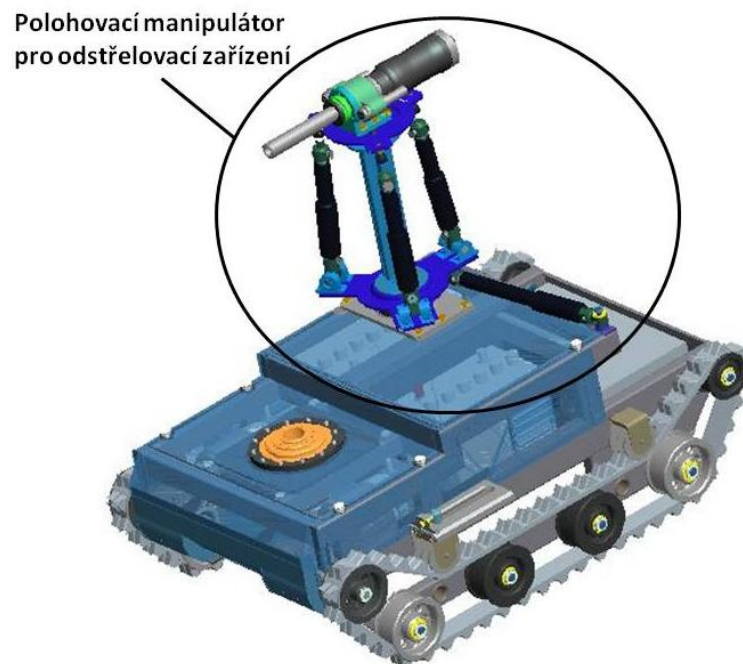
Tab. 6 – Varianta B

5.3.4 Vyhodnocení hodnotové analýzy

POŘADÍ	CELKOVÝ SOUČET VÁŽENÝCH INDEXŮ I _{ij} *	VARIANTA
1	90,0	A
2	79,6	C

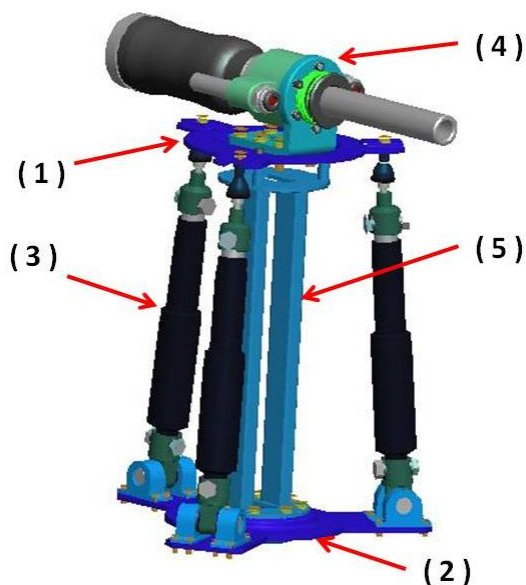
Tab. 7 – Vyhodnocení HA

6 Konstrukční řešení polohovacího manipulátoru pro odstřelovací zařízení.



Obr. 19 – Manipulátor s odstřelovacím zařízením.

6.1 Konstrukční řešení polohovacího manipulátoru pro odstřelovací zařízení.



OBR. 20 – Polohovací manipulátor

Na obrázku 20 je znázorněna celková konstrukce polohovacího manipulátoru pro odstřelovací zařízení. Polohovadlo bude aplikováno na pásový podvozek vytvořený katedrou robototechniky na VŠB – TUO. Tato aplikace na podvozek je blíže popsána v kapitole 6.2 – Aplikace na podvozek.

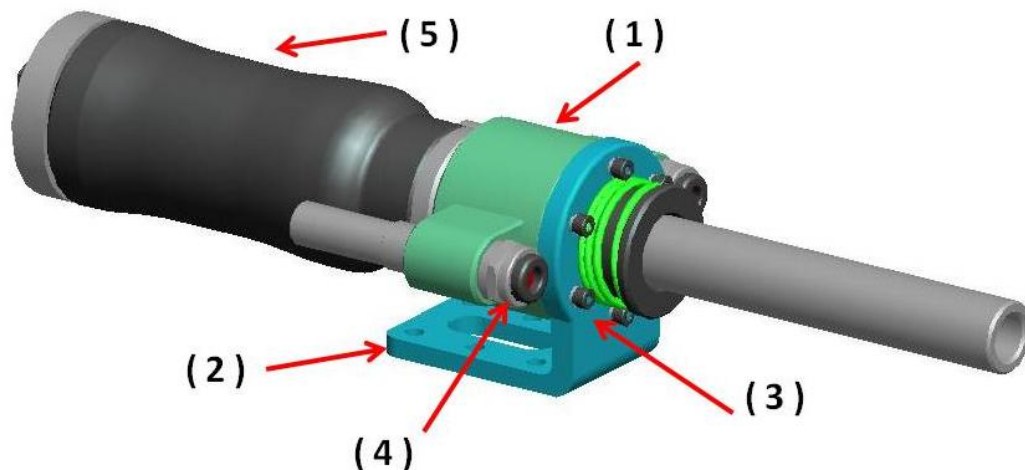
Je zde použito paralelní uspořádání prvků v kinematické struktuře. Základ konstrukce tvoří dvě plošiny, z nichž ta spodní (2) je pevně ukotvena a horní plošina

(1) je pohyblivá. Horní plošinu nesou tři teleskopické vzpěry (3), firmy LINAK, které mohou nezávisle na sobě měnit svůj zdvih. Tyto teleskopické vzpěry jsou připevněny ke spodní plošině pomocí otočného kloubu s jedním stupněm volnosti k horní plošině pomocí kulového čepu se třemi stupni volnosti. Na horní plošině je dále připevněn odstřelovač (4) firmy Chemring EOD. Důležitým prvkem u této konstrukce je dále parkovací podpěra (5), jehož funkcí je zajištění tzv. parkovací polohy horní plošiny při pohybu robota v terénu a deaktivaci polohovacího zařízení. Tato funkce je blíže popsána v kapitole 6.3 – Polohování manipulátoru.

Toto konstrukční řešení, jako paralelní kinematická struktura, má jen dva stupně volnosti a to rotace kolem horizontálních os x a y. Třetí požadovaný stupeň volnosti zajišťuje natáčení celého manipulátoru na podvozku – také popsáno v kapitole 6.3 – Polohování manipulátoru.

Středem celé konstrukce vede otvor pro kabeláž. Jednotlivé komponenty manipulátoru jsou dále popsány v členěných kapitolách.

6.1.1 Konstrukční řešení disrupteru.

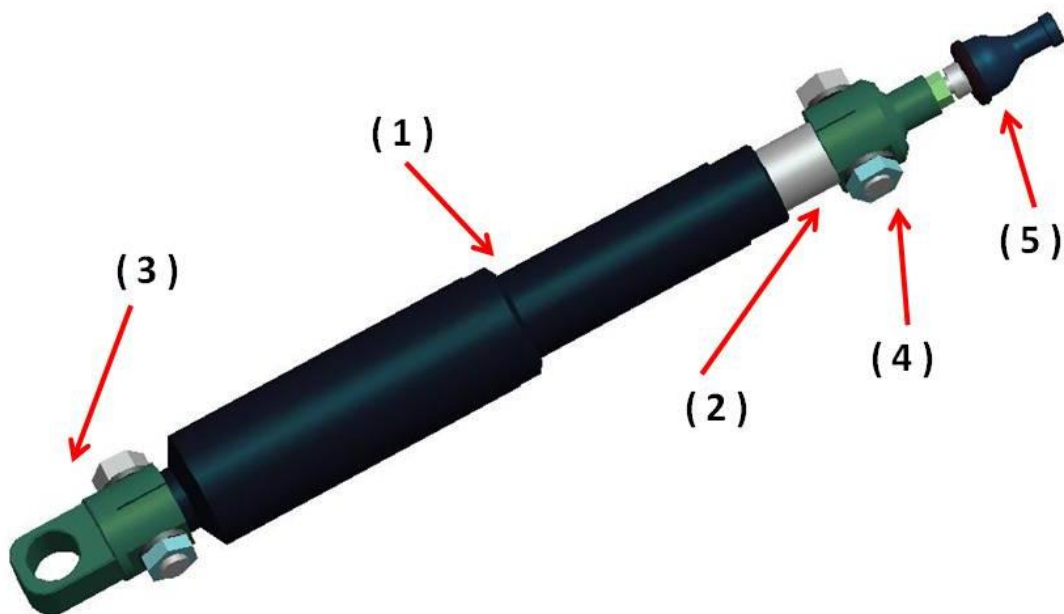


Obr. 21 – Disrupter

Disrupter na obrázku 2, RE 12-20R firmy Cherming EOD je odstřelovač pracující na principu vodního paprsku. Ústřední rychlost střeliva se pohybuje od $300 - 1000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Celý mechanismus se dodává i s přírubou (1) ve které je osazen disrupter a ve které je také nainstalován pár laserů (4), které mohou měřit vzdálenost od cíle. Tento vodní disrupter je zcela

bezzáklužový, to znamená, že díky kompenzátoru, který je vně nábojnice (5), nevytváří odstřelovač při výstřelu žádný zpětný ráz. To umožňuje aplikaci a na konstrukce s nižší tuhostí. Nevýhodou je naopak nutnost obsluhy, která musí ručně nabít projektil do nábojnice. To může být nevýhodou při minutí cíle, nebo při zasažení cíle a jeho případné pozdější samo-destrukci, kdy by došlo k ohrožení obsluhy. Disrupter je k unášeci (2) připevněn pomocí šroubů (3).

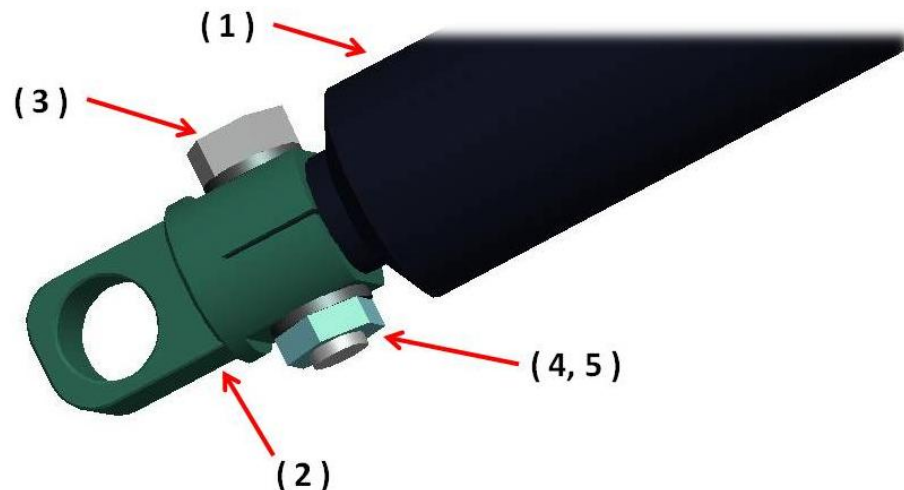
6.1.2 Konstrukční řešení teleskopických vzpěr.



Obr. 22 – Teleskopická vzpěra.

Teleskopická vzpěra se skládá z lineárního aktuatoru LINAK typ LA22 s výsuvnou pístnicí (2), spodní redukcí pro čep (3), horní redukcí pro kulový čep (4) a kulového čepu (5). (obr. 22). Všechny tyto komponenty mají společnou osu.

Lineární aktuator má v sobě zabudovaný elektrický stejnosměrný motor s permanentními magnety 12/24V, který pohání pohybový šroub, který je umístěn vně pístnice. Ta se vysouvá v rozsahu 0-50 mm. Jeho maximální rychlost činí 38 mm/s může vyvinout síla až 400 N.

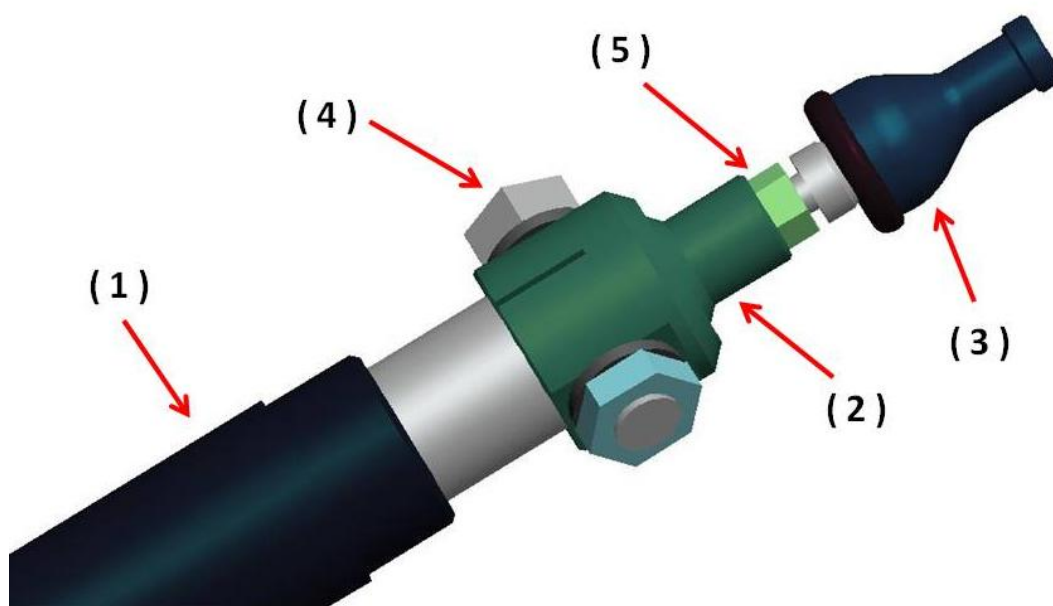


Obr. 23 – Spodní osazení lineárního aktuatoru.

Z důvodů vymezení vůlí je lin. aktuator (1) osazen v redukci (2) pro čep. Tato redukce má po stranách konstrukční drážku z důvodu sevření koncového členu aktuatoru. Sevření zajišťuje šroub s lícovaným dříkem, který také svým přesahovým uložením vymezuje vůli ve směru osy.

Stejným způsobem je také vyřešena redukce (2) pro kulový čep na výsuvné pístnici (obr. 24). Do této redukce je našroubován kulový čep (3) firmy THK typ RBI, který má osovou výchylku 30° . Výhodou kulového čepu je také souosost držáku se šroubem. To zaručuje možnosti vyšších namáhání a také namáhání tahem i tlakem. Kulový čep je dále zajištěn maticí (5), díky které je možno v malé míře nastavit délku zašroubování kulového čepu. Redukce je dále spojena s pístnicí pomocí šroubu s lícovaným dříkem (4) stejně jako u spodní redukce pro čep.

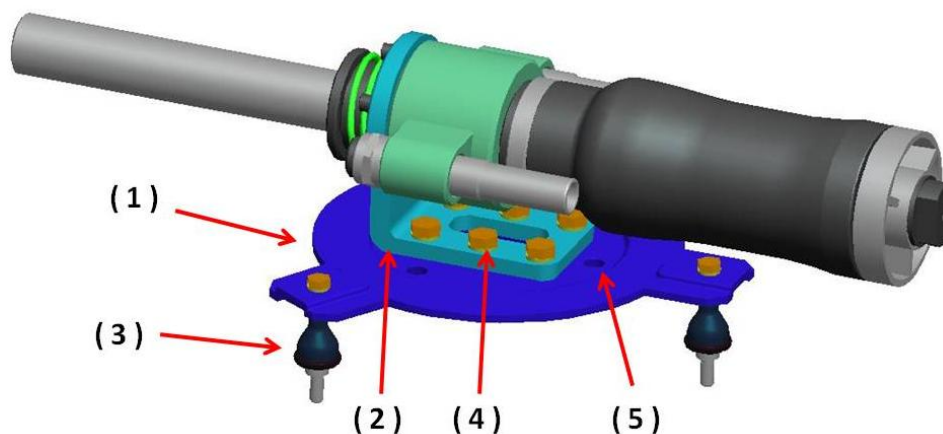
Všechny tři teleskopické vzpěry jsou shodné a jsou pootočený o 120° na roztečné kružnici o průměru 140 mm na spodní plošině.



Obr. 24 – Horní osazení li. aktuatoru.

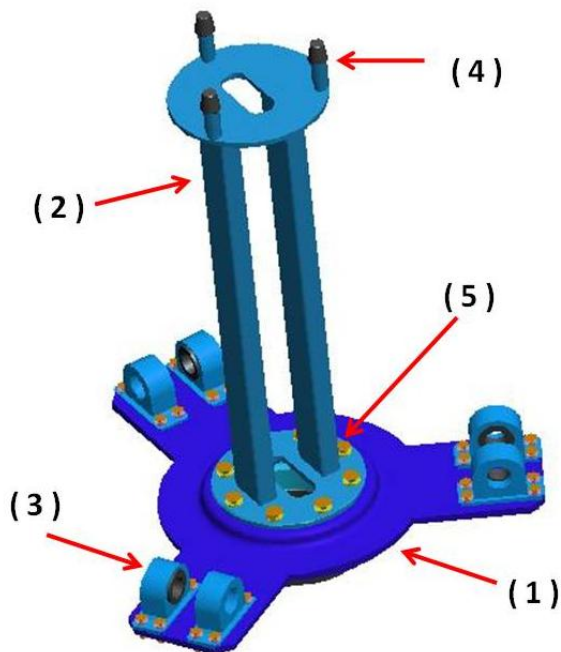
6.1.3 Konstrukční řešení horní plošiny

Horní plošina (1) na obrázku 25 je vyrobena z ocelového plechu a jsou na ní namontovány tři kulové čepy THK (3), které jsou pootočený o 120° na roztečné kružnici o poloměru 110 mm. Dále je k horní plošině přišroubován unašeč disrupteru (2). V plošině jsou také vytvořeny díry kuželového tvaru pro čepy, na které dosedne plošina při parkovací poloze. Dále je v plošině otvor pro vedení kabeláže a pro odlehčení konstrukce. Plošina je pohyblivá ve dvou horizontálních osách.



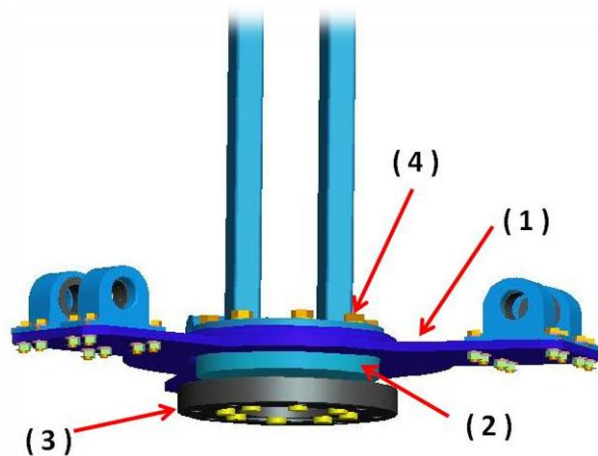
Obr. 25 – Horní plošina

6.1.4 Konstrukční řešení spodní plošiny a uložení vzpěry.



Obr. 26 – Spodní plošina - 1

domky pro kluzná ložiska. V těchto domcích je uložena teleskopická vzpěra pomocí otočného kloubu – viz. 6.1.5 – Uložení vzpěry v otočném čepu.



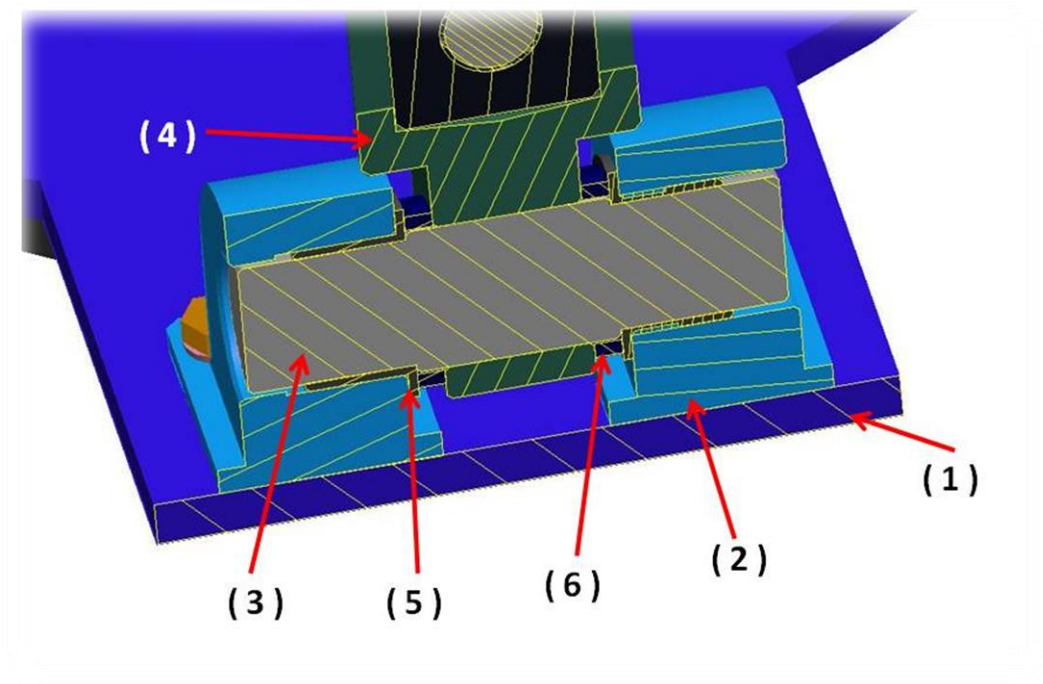
Obr. 27 – Spodní plošina - 2

takřka na jakoukoliv konstrukci. Toto řešení ložiska také vysokou zaručuje přesnost rotace.

Spodní plošina (1) vyobrazena na obrázku 26 je také vyrobena z ocelového plechu a je k ní přimontována parkovací podpěra (2) pomocí šroubů (5), které také spojují spodní plošinu s točnou, která je dále pospána. Na parkovací podpěře je pak čep kuželového tvaru do kterého dosedne horní plošina při pohybu robotu s deaktivovaným manipulátorem. Dále jsou na spodní plošině přišroubovány

Točna (2) je, jak již bylo zmíněno pevně připevněna ke spodní plošině (1) pomocí šroubů (4). K této točně je pak přišroubováno ložisko se zkříženými válečky (3) firmy THK typ RU, tento model je opatřen montážními otvory a tím nevyžaduje lisovanou přírubu, ani pouzdro, to umožňuje použití celého polohovacího manipulátoru

6.1.5 Uložení vzpěry v otočném čepu.



Obr. 28 – Uložení vzpěry v otočném kloubu

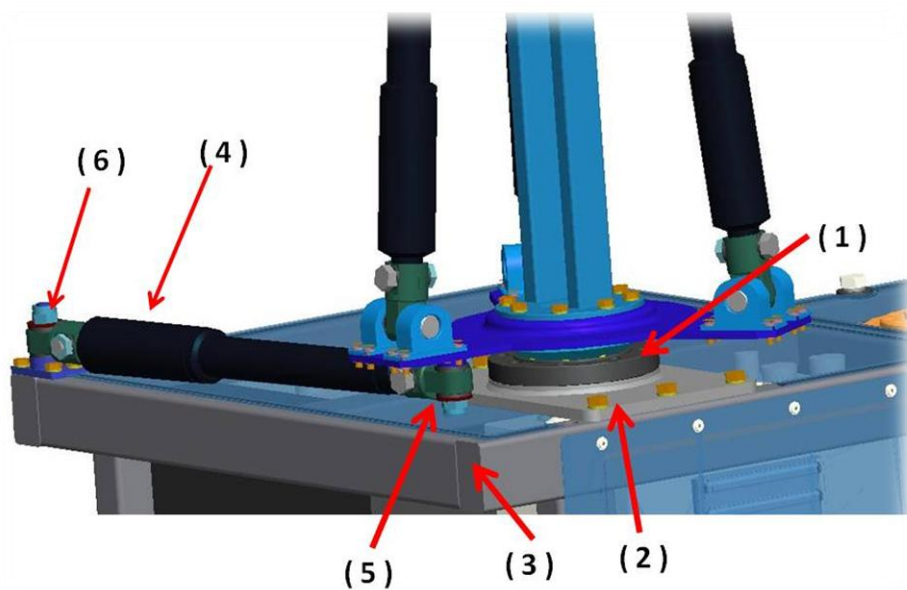
Na obrázku 28 je zobrazeno uložení teleskopické vzpěry v otočném kloubu na spodní plošině (1). Kloub se skládá z otočného čepu (3), který je z důvodů vymezení vůlí nalisován v redukci pro otočný kloub (4) a je vložen do kluzných ložisek (5) IGUS M250, typ S, který je schopen redukovat rázy a vibrace. Pro vymezení osové vůle čepu jsou mezi redukcí a kluzné ložisko vloženy distanční kroužky (6).

6.2 Aplikace na podvozek

Robot je aplikován na pásovém podvozku dle zadání. Podvozek je vyrobený katedrou Robototechniky na VŠB-TUO.



Obr. 29 – Aplikace na podvozek – I.

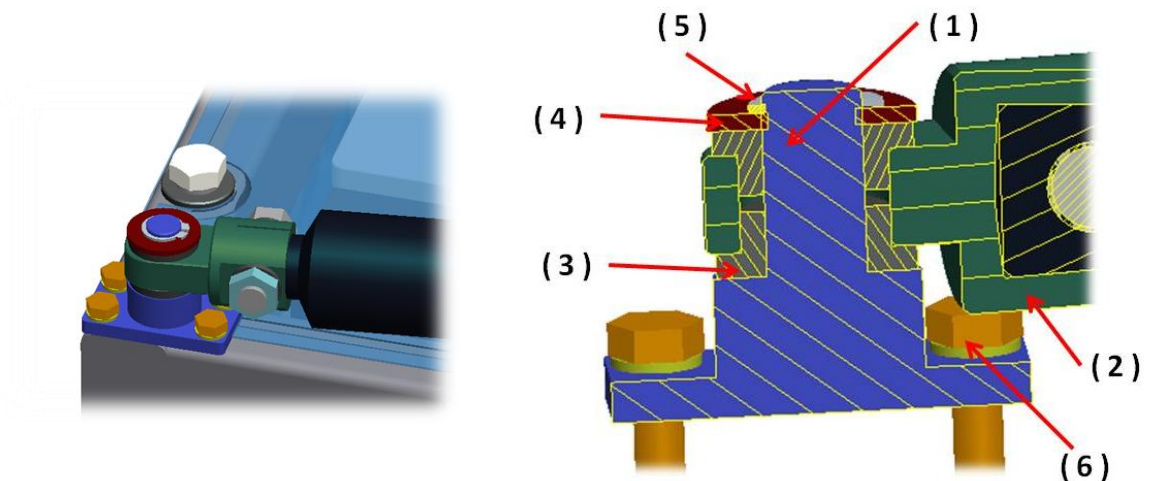


Obr. 30 – Aplikace na podvozek - II

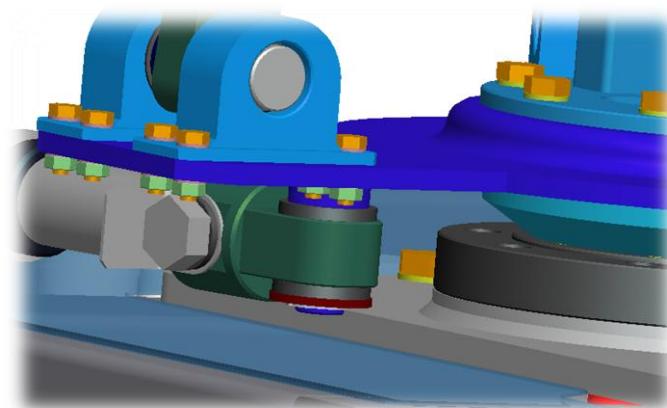
Na obrázku 30 je znázorněno, jakým způsobem je namontován manipulátor na podvozek. Ložisko THK (1) je namontováno k základové desce (2), která je pomocí šroubů připevněna na nástavbu pásového podvozku (3). Manipulátor je umístěn na levé straně podvozku ve směru jízdy vpřed, z důvodu aplikace pohonu otáčení celého manipulátoru. Dále

tako proto, že v přední části podvozku je příprava pro manipulační ruku. Pohon pro natáčení manipulátoru o požadovaných 30° zajišťuje také lineární aktuator firmy LINAK, stejného typu LA22, jako u teleskopických vzpěr. Zdvih je ale místo 50 mm zvýšen na 100 mm z důvodu hostečného natočení manipulátoru – viz. kapitola 8. Návrh pohon pro rotaci manipulátoru.

Dále na obrázku 31 je řez čepu znázorňující uložení pohonu pro rotaci na podvozku robotu. K podvozku je přišroubován čep (1) na rám nástavby, na tomto čepu je nasazena redukce (2) z lineárního aktuatoru LINAK na otočný čep (1). Aktuator je v redukci uložen naprosto stejným způsobem jako u teleskopických vzpěr z důvodu vymezení vůlí – (viz. 6.1.2 Konstrukční řešení teleskopických vzpěr). V oku redukce jsou pak nasazena kluzná ložiska IGUS M250 – 12x8 (3). Zajištění polohy pak obstarává pojistný kroužek (5) a podložka (4).



Obr. 31 – Uložení pohonu pro rotaci 1 a 2



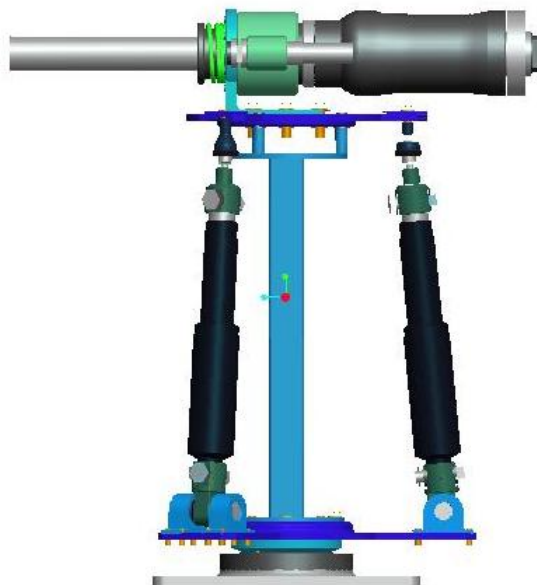
Obr. 32 – Uložení pohonu pro rotaci na spodní plošině.

Uložení pohonu pro rotaci na spodní plošině je shodné s uložením pohonu na podvozku. Také komponenty, kluzná ložiska, redukce, a matice s podložkou jsou také shodná. Čep je zde připevněn k spodní plošině svarovým spojem.

6.3 Polohování manipulátoru

Samotný manipulátor má jen 2 stupně volnosti a to horizontálních os (x a y – dle konvenčního souřadnicového systému). Všechny tři vzpěry mohou nezávisle na sobě měnit svůj zdvih a tím měnit náklon horní plošiny. Dochází tedy k rotaci kolem horizontálních os. Rotaci pak zajišťuje lineární pohon připevněný k podvozku, který natáčí s celým polohovacím manipulátorem kolem vertikální osy (z) a tím zajišťuje třetí požadovaný stupeň volnosti pro zaměřování.

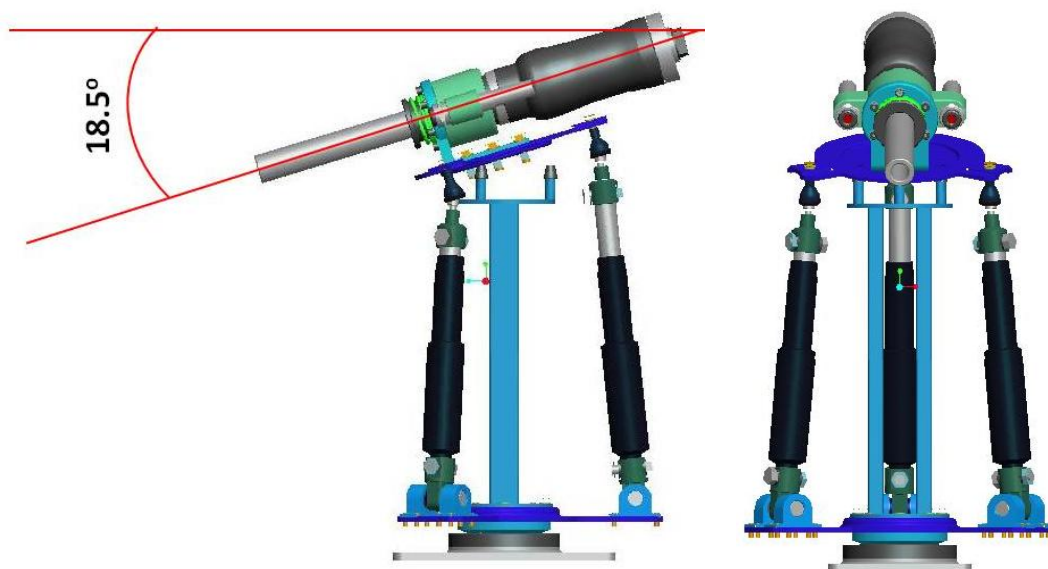
6.3.1 Polohování manipulátoru



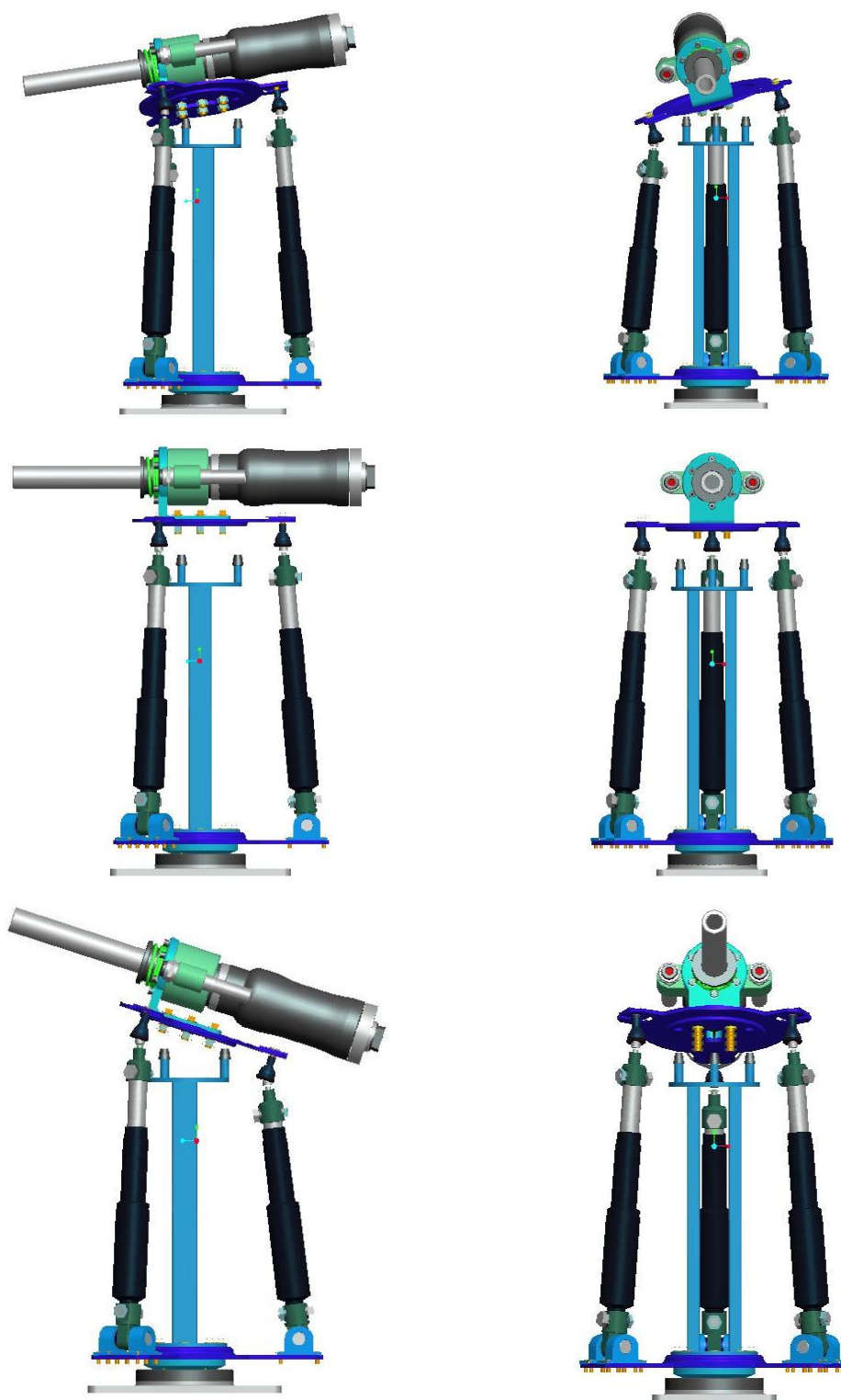
Obr. 33 – Základní a parkovací poloha

Manipulátor je v základní parkovací poloze (obr. 33), kdy je horní plošina spuštěna do čepů s kuželovým tvarem umístěných na unášce parkovací polohy (viz. 6.1.4 Konstrukční řešení spodní plošiny a uložení vzpěry.) Tato poloha je určena k aretaci horní plošiny, když se robot přemisťuje, nebo při parkování robotu.

Polohy robotu



Obr. 34 – Poloha I

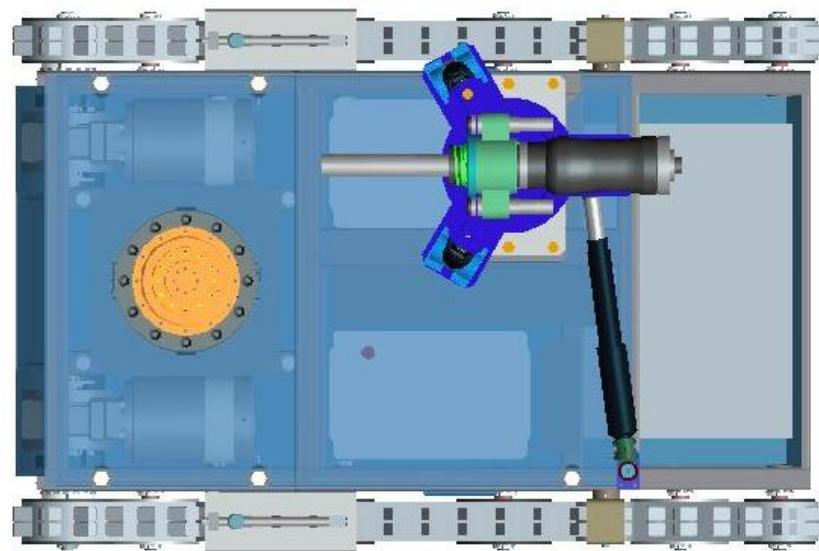


Obr. 34 – Polohy manipulátoru

Při maximálním vysunutí předních vzpěr je úhel natočení odstřelovače vzhledem k horizontální ose $18,5^\circ$, to samé platí pro opačnou

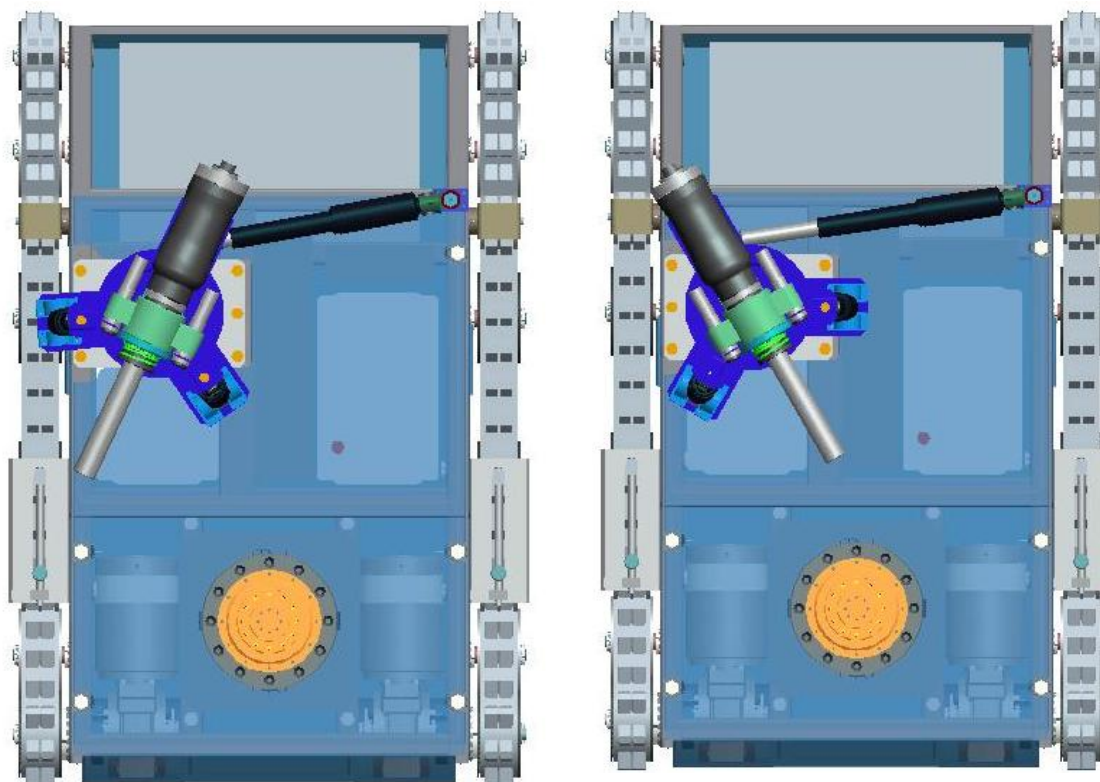
polohu, kdy jsou přední osy zasunuty a zadní vzpěra maximálně vysunuta, To zaručuje celkovou osovou výchylku 37° což vyhovuje požadovaným 30° . Dále při maximálním vysunutí jedné libovolné vzpěry je úhel mezi osou šroubu a osou držáku u kulového čepu THK 23° , což také vyhovuje, protože výrobce udává osovou výchylku 30° .

6.3.2 Rotace na podvozku



Obr. 35 – Základní poloha manipulátoru na podvozku

Rotaci polohovacího manipulátoru zajišťuje lineární aktuator LINAK, tak jak je to popsáno v kapitole 6.2 Aplikace na podvozek. Bylo nutné stanovit potřebný zdvih aktuatoru k dosažení požadovaného natočení 30° kolem vertikální osy. Tento výpočet je proveden v kapitole 8. Návrh pohonu pro rotaci manipulátoru na podvozku. Na obrázku 36 jsou znázorněny polohy při maximálním natočení. Díky většímu zdvihu aktuatoru je možné natáčet z manipulátorem $27,5^\circ$ na každou stranu, což v součtu je 55° možnosti natočení, což přesahuje o 25° požadovaných 30° .



Obr. 36 – Krajní polohy natočení manipulátoru

Všechny úhly mezi jednotlivými díly a úhly natočení jednotlivých komponentů byl změřeny v systému Pro/ENGINEER. Maximální rychlost posuvu pístnice aktuatoru je 38 mm.s^{-1} a rychlost polohování byl s ohledem na silové účinky stanovena na 25 mm.s^{-1} . To znamená, že při maximálním natočení horní plošiny a zdvihu pístu 50 mm je čas natočení ze základní do maximální polohy natočení 2 sekundy, zanedbáme-li rozběh a doběh. Rychlost natáčení manipulátoru na podvozku byla s ohledem na silové účinky stanovena na $5^\circ \cdot \text{s}^{-1}$. Pro potřebné natočení o 30° dle požadavku je pak čas z minimálního natočení do maximálního 6 sekund.

6.4 Technické parametry polohovacího manipulátor.

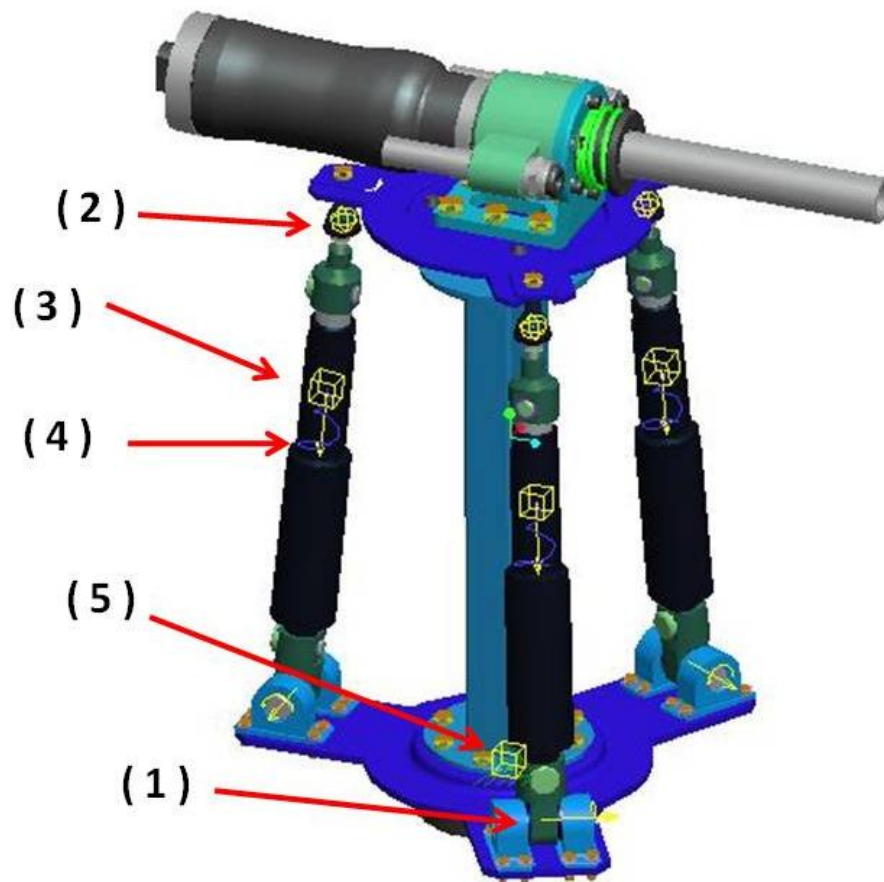
HMOTNOST	18,6 kg
MAX. ROZMĚRY	570x480 mm
MIN. ROZMĚRY	520x480 mm
POČET DOF	3
RYCHLOST POLOHOVÁNÍ KOLEM X A Y	25 mm.s ⁻¹
RYCHLOST POLOHOVÁNÍ KOLEM Z	5° .s ⁻¹ (0,1rad.s ⁻¹)
ROZSAH POHYBŮ V X A Y	36°
ROZSAH POHYBŮ V Z	55°

7 Určení sil a reakcí v polohovacím manipulátoru

S ohledem na složitost výpočtu sil a reakcí v paralelní kinematické struktuře byl silový výpočet proveden v programu Pro/ENGINEER v aplikaci MECHANICA – MOTON. K dosažení správného výsledku bylo zapotřebí nadefinovat řadu věcí, jako například materiál komponentu, jednotlivé vazby mezi komponenty (CONNECTIONS), vložit jednotlivé komponenty, které se spolu pohybují do společných soustav (BODIES) atd.

Zprvu je třeba nadefinovat správné jednotky v aplikaci, pro dle norem, Newton, milimetr, kilogram atd. Dále je zapotřebí nadefinovat materiál jednotlivých komponentů. Každému dílu se tedy musí přiřadit materiál a tím dostaneme také hmotnost dílu. Poté se musí seskupit jednotlivé spolu se pohybující díly do sestav tzv. BODIES. V soustavě se pak určí gravitace zrychlení ve správném směru dle souřadného systému.

Přiřazení vazeb (CONNECTIONS) mezi jednotlivými navzájem se pohybujícími se sestavami je vyobrazeno na obrázku 37. Vazba PIN (1) dovolující jeden rotační stupeň volnosti je umístěna v otočném kloubu teleskopické vzpěry. V kulovém kloubu, kde je spojena vzpěra s horní pohyblivou plošinou je nastavena vazba BALL (2) dovolující tři stupně volnosti. Poslední vazbou je vazba SLIDER (3), která má jeden stupeň volnosti a to translaci. V této vazbě je také umístěn pohon DRIVER (4), který dále definujeme. Další podstatnou vazbou je vazba WELD (5), kterou umístíme do nepohybujících se BODIES a tím ukotvíme sestavu.



Obr. 37 – Manipulátor v aplikaci MOTION

Pro nastavení pohonů je třeba určit zrychlení, při kterém vznikají největší dynamické síly.

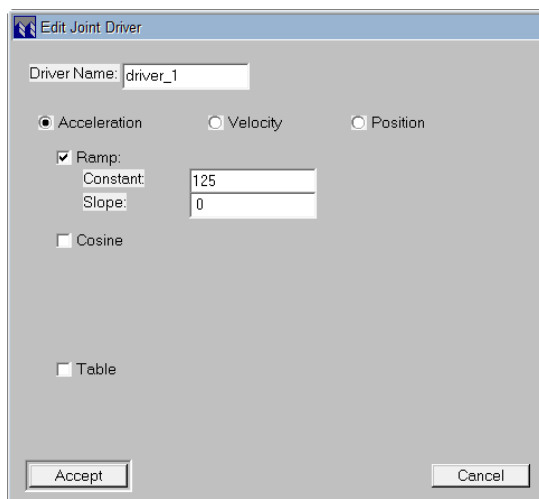
Výpočet zrychlení lineárního pohonu.

$$a = \frac{v}{t_r} = \frac{25}{0,2} = 125 \text{ [mm.s}^{-2}\text{]} \quad (1)$$

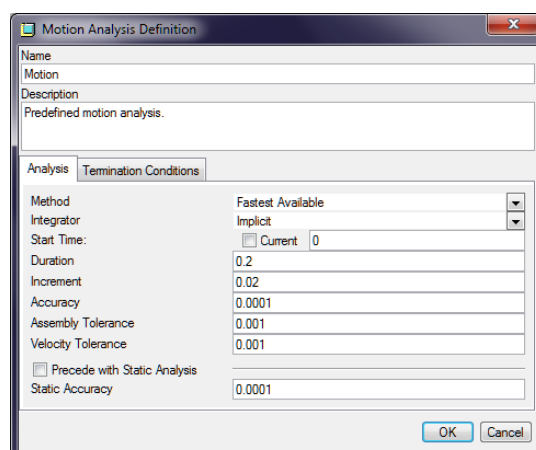
kde:

- | | |
|------------------------|----------------|
| $a = \text{mm.s}^{-2}$ | - je zrychlení |
| $v = \text{mm.s}^{-1}$ | - je rychlost |
| $t_r = \text{s}$ | - čas rozběhu |

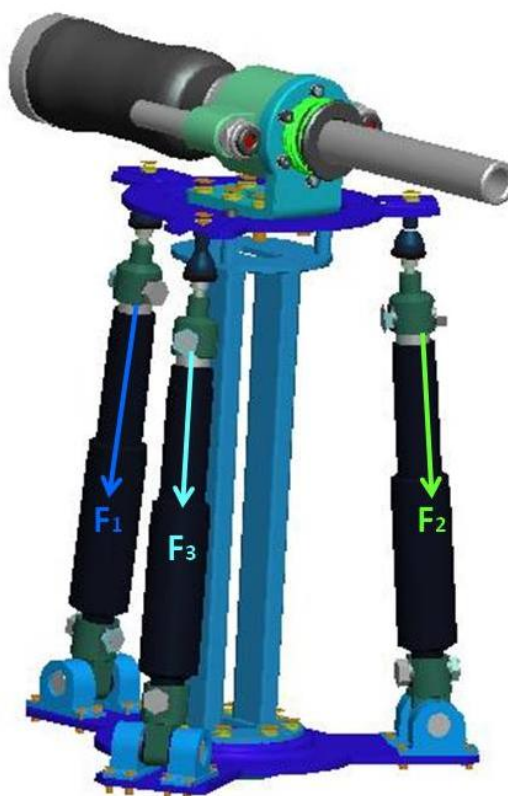
Vypočtené zrychlení dosadíme do tabulky definování pohonu v Pro/E – viz obrázek 38. Poté je třeba nadefinovat čas a krokování analýzy, to je zobrazeno na obrázku 39. Čas byl nastaven na hodnotu 0,2 s a krok 0,02.



Obr. 38 – Definování pohonů v Pro/E.



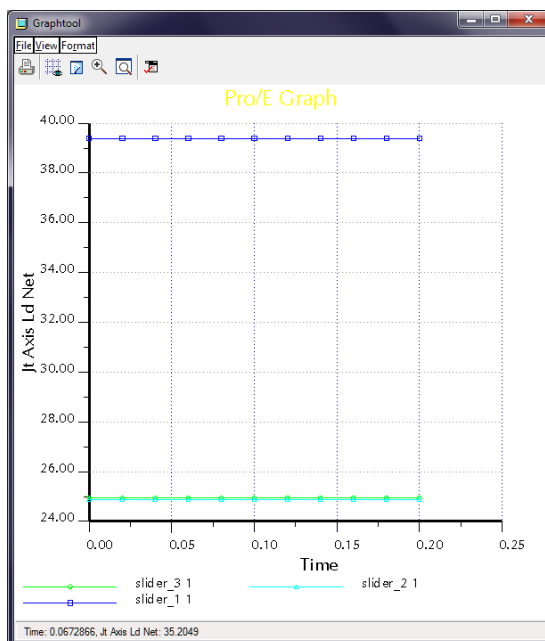
Obr. 39 – Nastavení analýzy.



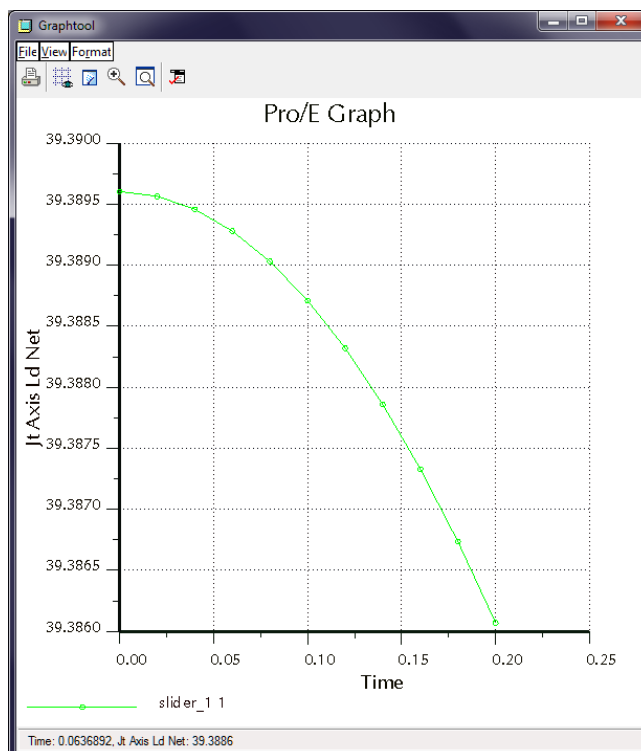
Obr. 40 – Síly působící v manipulátoru

Na obrázku 40 je zobrazeno působení jednotlivých dynamických sil ve vzpěrách. Síla F_1 , F_2 a síla F_3 . Po spuštění analýzy program provádí výpočet v čase 0 až 0,2 sekundy po kroku 0,02.

Po dokončení analýzy je vybrán příslušný graf silových účinků ve výsledcích zobrazený na obr. 41. Z grafu je zřejmé, že největší síla je síla F_1 . Tato síla má velikost $F_1 = 39,5$ N (odečteno z obr. 42). Lineární pohon má maximální sílu ve zdvihu udávanou výrobcem 400 N, což je dostačující pro polohování.

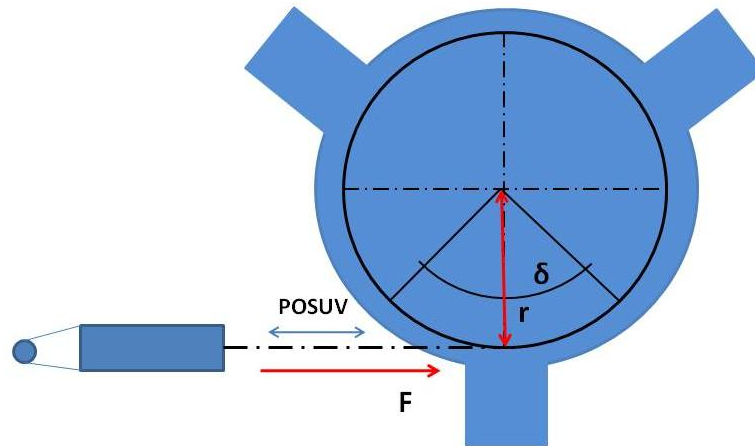


Obr. 41 – Graf výslednic sil F_1 , F_2 , F_3 .



Obr. 42 – Graf výslednice síly F_1

8 Návrh pohonu pro rotaci manipulátorka podvozku.



Obr. 43 – Rotace polohovacího manipulátoru

Výpočet potřebné síly pro otáčivý pohyb polohovacího manipulátoru byl proveden na základě dynamických účinků při rotaci. Otočný čep na němž je připevněn lineární aktuator firmy LINAK je vzdálen od středu 105 mm, což je poloměr r vyznačený na obrázku 43. Úkolem je stanovit potřebnou sílu a zdvih lineárního pohonu. Úhel natočení δ je dle požadavků $30^\circ (\pm 15)$. Úhlová rychlost rotace ω je 5° s^{-1} , což odpovídá $0,09 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. Doba rozběhu lin. aktuatoru je 0,2 s. Moment setrvačnosti byl zjištěn v programu Pro/ENGINEER jeho velikost je $I = 18,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Konstrukční koeficient $k_1 = 1,2$ (z již provedených konstrukcí).

Výpočet úhlového zrychlení ε

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t_r} = \frac{0,09}{0,2} = 0,45 [\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (2)$$

Výpočet dynamického momentu M_d .

$$M_d = I * \varepsilon = 18,6 * 0,45 = 8,37 [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (3)$$

Výpočet potřebné síly F

$$F = \frac{M}{r} = \frac{8,37}{0,105} = 103,6 [N] \quad (4)$$

Kde:

$\varepsilon = \text{rad.s}^{-2}$	- je úhlové zrychlení
$\omega = \text{rad.s}^{-1}$	- je úhlová rychlost
$t_r = \text{s}$	- čas rozběhu
$M_d = \text{N.m}$	- dynamický moment
$I = \text{kg.m}^2$	- moment setrvačnosti
$F = \text{N}$	- síla

Lineární aktuátor LINAK LA22 disponuje maximální výtlačnou silou 400 N, což je dostačující pro rozpořbování manipulátoru v ose z.

Pro určení potřebného zdvihu lineárního pohonu je vycházeno z požadavku natočení o 30° celého manipulátoru, to odpovídá 1/12 obvodu pomyslně opsané kružnice o poloměru r. Poloměr $r = 105 \text{ mm}$ a je vzdálenost od středu, kde je lineární pohon namontován ke spodní plošině.

Výpočet obvodu opsané kružnice otáčení

$$o = 2 * \pi * r = 2 * \pi * 0,105 = 659,8 [mm] \quad (5)$$

Výpočet potřebného zdvihu lin. pohonu.

$$z = \frac{689,8}{12} = 55 \text{ mm} [mm] \quad (6)$$

Kde:

$o = \text{mm}$	- je obvod kružnice
$r = \text{mm}$	- je poloměr kružnice
$z = \text{mm}$	- zdvih lin. pohonu

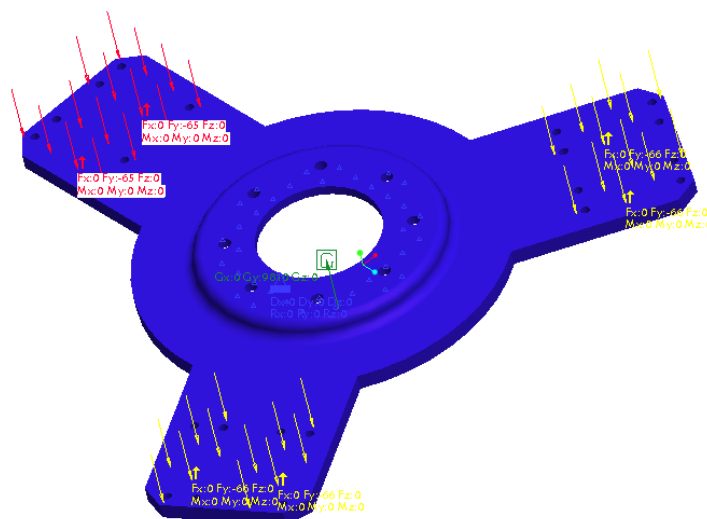
9 Pevnostní analýzy.

9.1 Pevnostní analýza spodní plošiny

Spodní plošina je vyrobena z oceli třídy 11 300. Tloušťka plošiny je 6 mm. Její tvar je ovlivněn prostorovým uspořádáním paralelní kinematické struktury. Je navržena na co nejmenší rozměry a hmotnost a tím snížení dynamických účinku při rotaci.

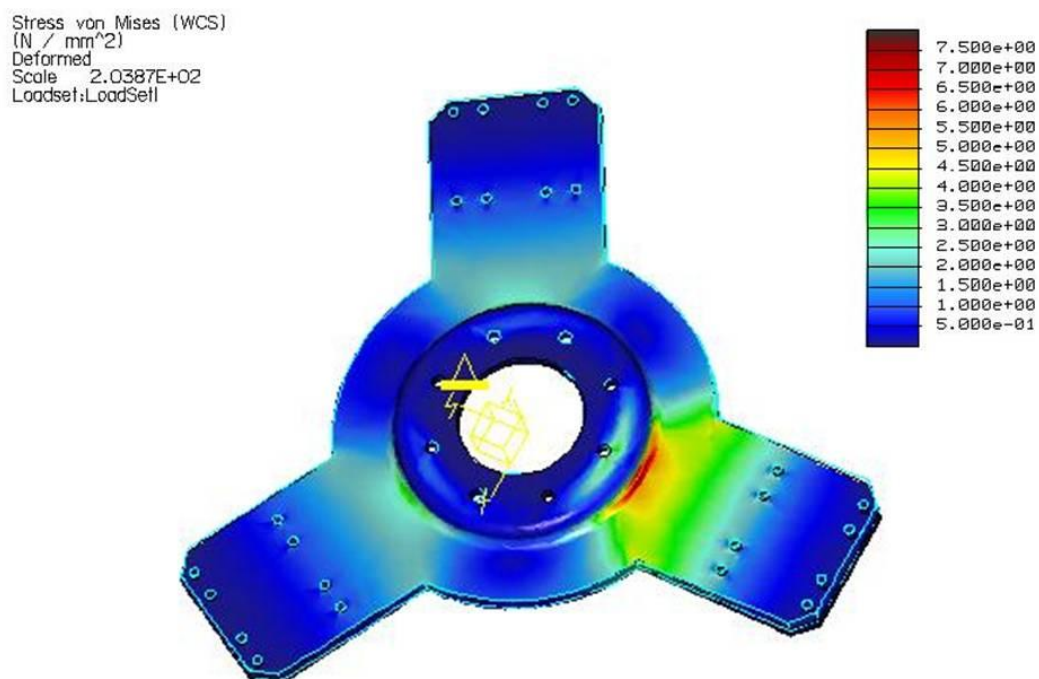
Pevnostní analýza proběhla pro případ nejvyššího zatížení a to když při pohybu horní plošiny. Na analyzované plošině byly vytvořeny plošné regiony, které simulovaly skutečnou plochu, kde působí zatěžující síly. To je vidět na obrázku 44. Na obrázku je také vidět, že na jedné straně působí větší síla, než na zbylých dvou. To je způsobeno momentem z nevyvážených hmot.

Velikosti sil byly odečteny ze silové analýzy a k nimž byly přičteny síly z nevyvážených hmot. Největší síla působící na plošinu je 72 N – tato síla je na obrázku 44 vyznačena červenou barvou. Další síly mají velikost 51 N.

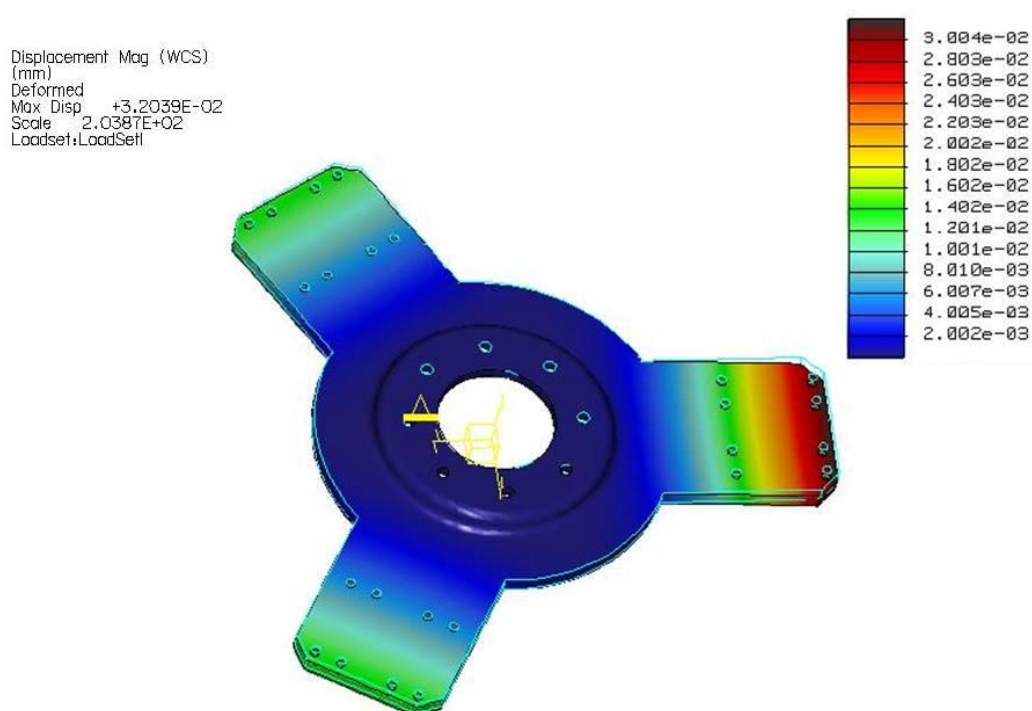


Obr. 44 – Zatížení spodní plošiny

Plošina byla dále ukotvena, také pomocí plošného regionu v místě, kde je přimontována točna na spodní straně. Na obrázcích 45 a 46 jsou znázorněny výsledky pevnostních analýz: Na obrázku 45 je výsledek napětíové analýzy s maximálním napětím. Na obrázku 46 je deformační analýza se zobrazením maximálního průhybu plošiny.



OBR. 45 – Pevnostní analýza spodní plošiny - Napětí



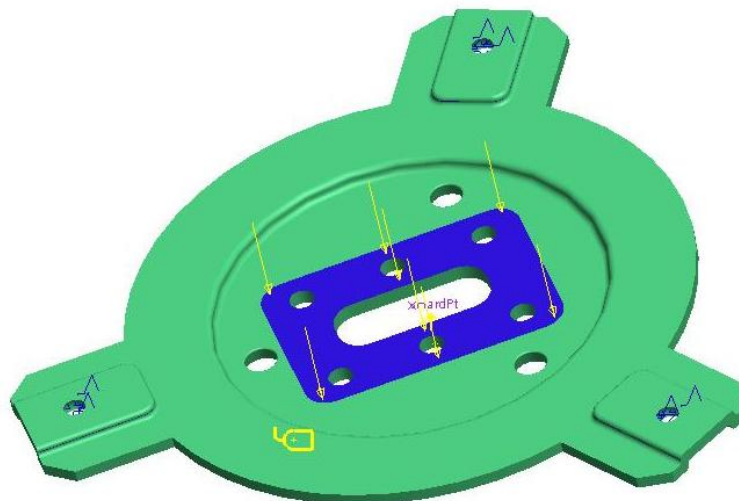
Obr. 46 – Pevnostní analýza spodní plošiny - DEFORMACE

Z napěťové analýzy je zřejmé, že maximální napětí na spodní plošině je 7,5 MPA, což je zanedbatelné. Maximální průhyb činí 0,03 mm.

9.2 Pevnostní analýza horní plošiny

Horní pohyblivá plošina je také vyrobena z oceli třídy 11 300. Její tvar a rozměry byl redukován na co nejmenší hmotnost s ohledem na dynamické účinky při polohování. Zároveň, tak musí plošina nést odstřelovač, který je na ní připevněn.

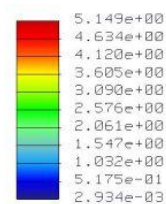
S ohledem na to, že plošina není nikde pevně ukotvena, byla pevnostní analýza provedena v programu Pro/ENGINEER – 5. Byl vytvořený plošný region, simulující plochu připevnění odstřelovače, jak je vidět na obrázku 47 a do míst kde je kúlový čep byla umístěna vazba kulového kloubu.



Obr. 47 – Zatížení horní plošiny

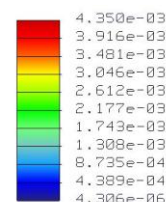
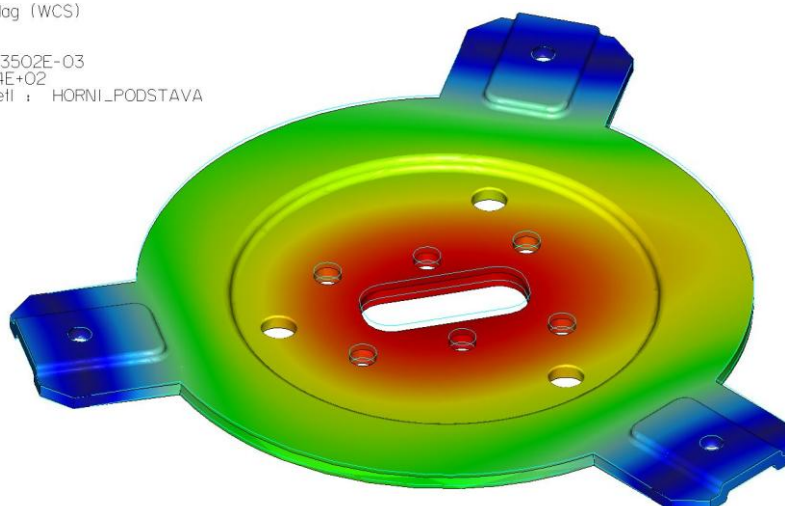
Jako působící síla je zde tíha odstřelovače a její velikost byla odečtena z programu Pro/ENGINEER. Velikost zatěžující síly je 32 N. Na obrázku 48 je výsledek napěťové analýzy horní pohyblivé plošiny a rozložení napětí v plošině. Na obrázku 49 je deformační analýza horní plošiny se zobrazením maximálního průhybu plošiny.

Stress von Mises (WCS)
(MPa)
Deformed
Scale: 5,4304E+02
Loadset: LoadSet1 : HORNÍ_PODSTAVA



Obr. 48 – Výsledek napěťové analýzy horní plošiny.

Displacement Mag (WCS)
(mm)
Deformed
Max Disp: +4,3502E-03
Scale: 5,4304E+02
Loadset: LoadSet1 : HORNÍ_PODSTAVA

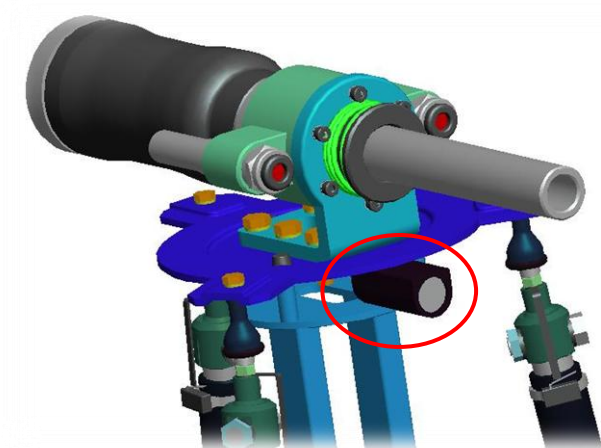


Obr. 49 – Deformační analýza horní plošiny.

Z provedené pevnostní analýzy vyplývá, že největší napětí v plošině je 5,14 MPa a největší průhyb je pouze 0,004 mm.

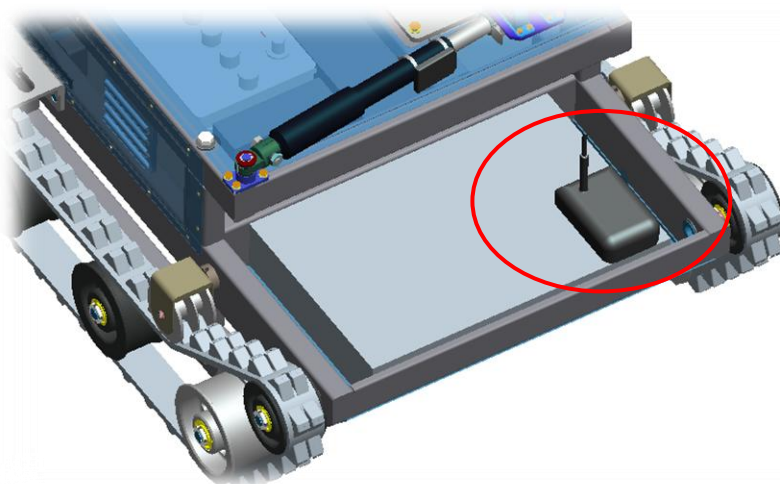
10 Návrh řízení polohovacího manipulátoru.

Samotné zaměřování a následný odstřel bude proveden proškolenou obsluhou z operátorského stanoviště pomocí PC. Toto stanoviště obsahuje PC, ke kterému je připojena kamera F-OS-285CI, umístěná na horní pohyblivé plošině (viz. obr.50) určená pro vizualizaci zaměřování. Pro



Obr. 50 – Umístění kamery na horní plošině.

bezdrátový přenos video signálu z kamery k PC je použito adaptéru určeného pro bezdrátový přenos AV signálu typ C3023. Tento adaptér obsahuje vysílač, který je umístěn v zadní části podvozku robotu (viz. obr.51) a přijímač, který je součástí operátorského stanoviště. Jelikož přijímač AV signálu má jako výstup pouze RCA konektor (CINCH), je k PC připojen přes externí Tv-kartu PINNACLE STUDIO MOVIEBOX ULTIMATE 14. K PC je dále připojena řídicí jednotka (BLACK-BOX) popsaná níže.



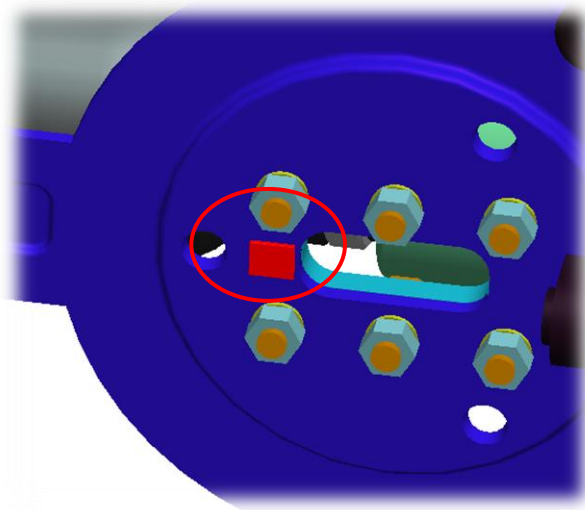
Obr. 51 – Umístění AV vysílače na podvozku robotu

U řízení robotů a manipulátorů s paralelní kinematickou strukturou je nutno počítat s náročným řízením polohy, protože každá realizace i nejjednodušších pohybů vyžaduje změnu polohy všech aktivních členů. Každá poloha, které má být dosaženo, je přepočítávána na délkovou změnu

teleskopických tyčí prostorovou transformací souřadnic, jež vypočítává délku každé tyče pro bod daný v kartézských souřadnicích. K tomu všemu je zapotřebí výpočet Inverzní úlohy kinematiky a aplikace pokročilého řídicího systému. Proto je zde jen návrh na řízení polohovacího manipulátoru a jedná se jen o jednu z více možností.

Použité lineární aktuatory nemají funkcí zpětné vazby a proto je nutné stanovit jejich přesnou polohu.

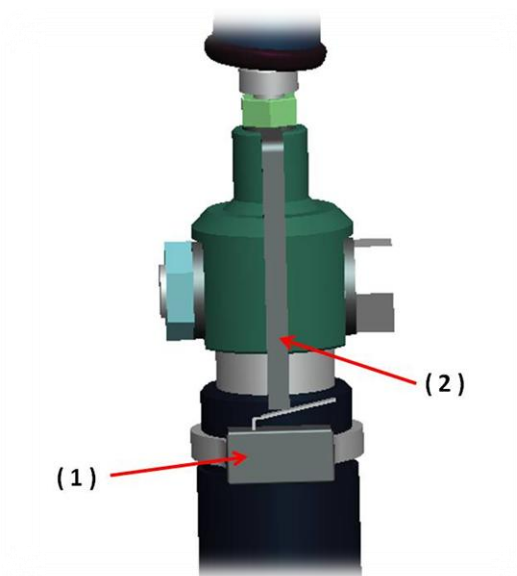
Při deaktivaci polohovacího manipulátoru, kdy se robot pohybuje, nebo kdy není zapotřebí jeho použití, je manipulátor v tzv. parkovací poloze, kdy je v nejnižší poloze a horní plošina je uložena v kuželových čepích na parkovací podpěře (viz. kap. 6.1.4 Konstrukční řešení spodní plošiny a uložení vzpěry).



Obr. 52 – Umístění gyroskopu

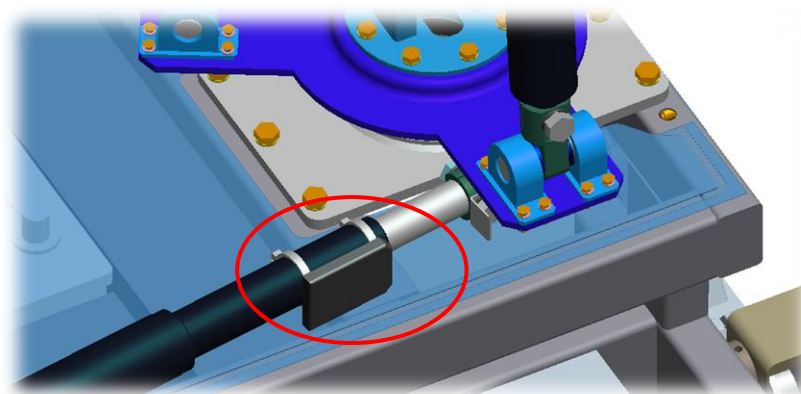
Pro měření polohy horní plošiny je zde použit gyroskop firmy SPARKFUN, typ IDG500. Tento gyroskop dokáže měřit náklon ve 2 osách (x a y), proto pro měření polohy horní plošiny postačí použití jen jednoho modulu. Umístění gyroskopu je na obrázku 52. Pro začátek měření náklonu a polohy gyroskopem je zapotřebí určit počáteční, inicializační polohu horní plošiny. Tuto polohu

signalizují mikrospínače SM – 05 3 02 P firmy ZIPPY. Při aktivaci polohovacího manipulátoru se horní plošina zvedne o 3 milimetry ve vertikální ose z, aby při náklonu nedošlo ke kolizi s kuželovými čepy, a dojde k rozeptnutí kontaktu mezi tyčinkou (2) a mikrospínačem (1) (viz. obr. 53) Je zapotřebí jednoho mikrospínače na jeden lineární pohon. Toto rozeptnutí je signálem pro určení inicializační polohy potřebné pro gyroskopy.



Obr. 52 – Poloha mikrospínače

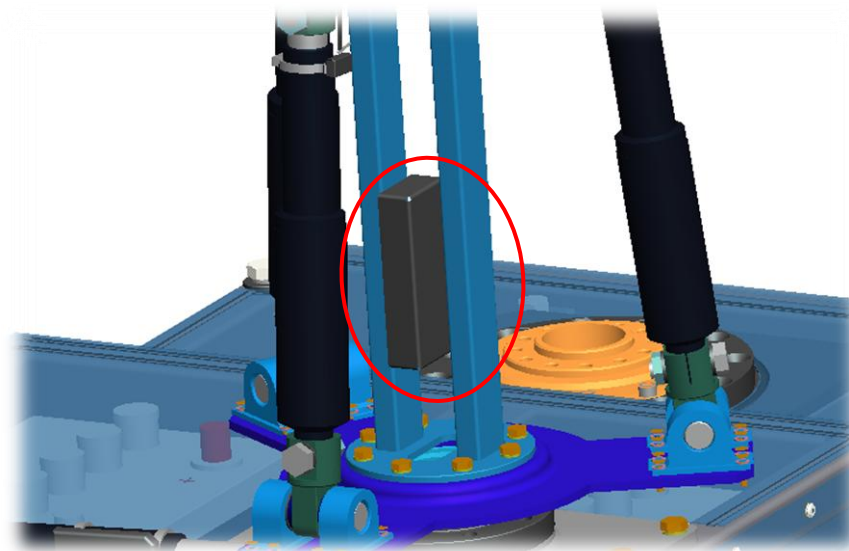
Stejnoseměrný motor v lineárním pohonu vzpěry je řízen mikroprocesorem ATMEL – Atmega162, který je hlavním řídicím prvkem. K mikroprocesoru jsou připojeny mikrospínače, gyroskop, odstřelovač (disrupter) a také IGBT tranzistory, které dodávají stejnosměrným motorům potřebné řídicí napětí z baterií na podvozku robotu. Lineární pohon pro rotaci celého manipulátoru je opatřen laserovým snímačem polohy optoNCDT-1700 firmy MICRO-EPSILON (obr.53).



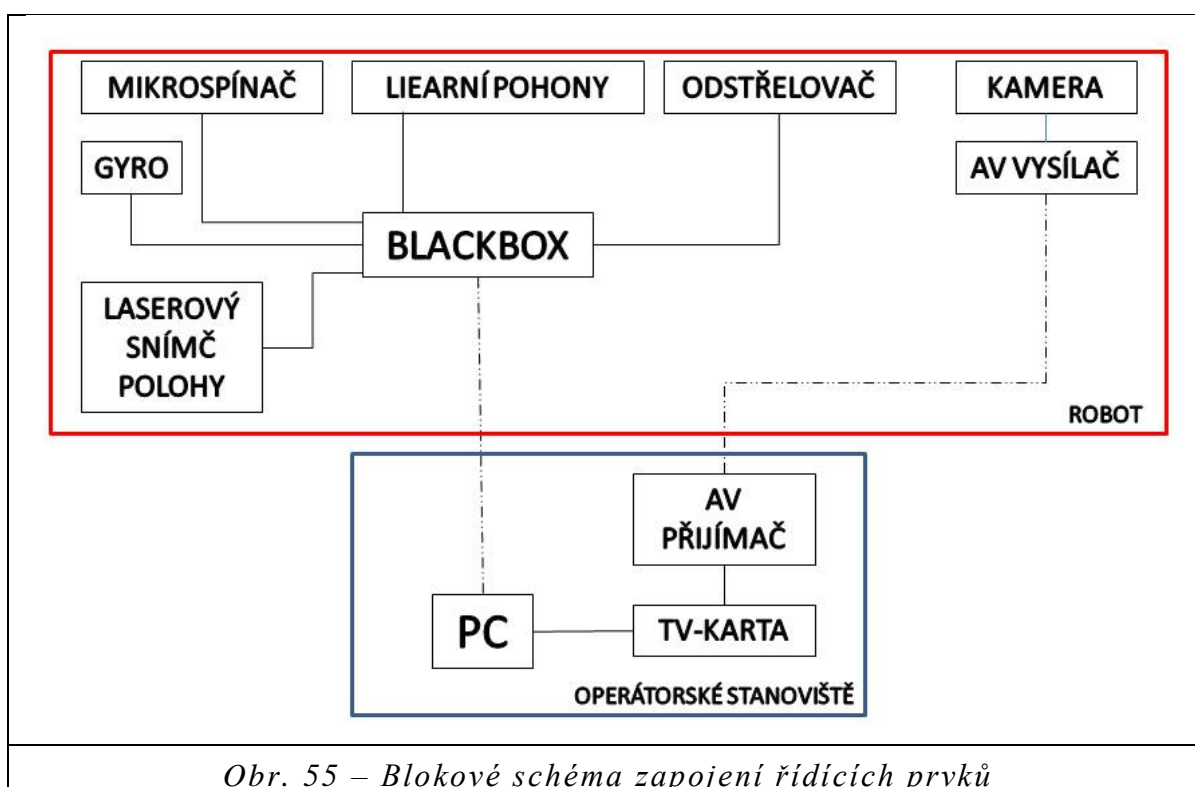
Obr. 53 – Laserový měřič polohy na lin. pohonu

Mikroprocesor ATMEL je usazen v dceřiné desce a spolu s IGBT tranzistory je uložen v BLACK-BOXU, jehož umístění je na obrázku (54). Dále jako výstup z mikroprocesoru je sériová linka RS-232, která je připojena k Bluetooth modulu OEMSPA311 od firmy SPEZIAL-ELECTRONIC, který pracuje jako převodník sériové linky na bezdrátovou komunikaci, používající technologii Bluetooth. Modul je také součástí

black-boxu. Signál pak z black-boxu putuje do PC na operátorském stanovišti, kde se dále zpracovává příslušným programem synchronizovaným s videozáznamem z kamery.



Obr. 54 – Umístění BLACK-BOXU na manipulátoru.



Základní vlastnosti jednotlivých řídicích komponentů jsou uvedeny v přílohách.

11 Montážní postup polohovacího manipulátoru s odstřelovacím zařízením.

Základní deska polohovacího manipulátoru se pomocí šroubů M8x20 připevní k podvozku robotu dle dispozičního výkresu OVA006-DP-D1.

Poté se pomocí šroubu (11) namontuje čep (7) na který se pak nasadí lineární pohon pro rotaci a který se také namontuje na čep na spodní plošině (10), pohon se pak zajistí pojistným kroužkem (10) – pozice a umístění dílu viz. výkres OVA006-DP-S2. Montážní postup jednotlivých dílů na lineární aktuator je stejný jako u teleskopických vzpěr, které jsou popsány níže.

Montážní postup polohovacího manipulátoru.

Dle sestavního výkresu OVA006-DP-S1

Na lineární aktuator (4) nasunout spodní redukci (12), která se upevní lícovaným šroubem (17) a zajistí se podložkami (18) a maticí (19). Do oka spodní redukce nalisovat čep (14). Dále na pístnici nasunout horní redukci (11) a zajistit stejným způsobem jako dolní redukci.

K základové desce (9) přimontovat pomocí šroubů (31) ložisko THK (8). K ložisku pak připevnit pomocí šroubů (31) točnu (7). K točně poté přimontovat šrouby (23) opatřených podložkami (27) spodní plošinu (1) s parkovací podpěrrou (6). Ke spodní plošině dále připevnit 3x domek (13) jen na jednu stranu pomocí šroubů (30) a do něj pak vložit kluzné ložisko (15). Do kluzného ložiska vložit čep (14), který je nalisovaný v oku redukce lineárního pohonu a vložit mezi čep a kluzné ložisko rozpěrný kroužek (16). Po vložení čepu nasunout a připevnit 3x domek z druhé strany s již vloženým kluzným ložiskem stejným způsobem jako u prvních domků. K horním redukcím dále přimontovat kulové čepy (10) a zajistit maticí (26).

K horní plošině (2) připevnit pomocí šroubů unášec (5), na který pak namontovat pomocí šroubů (26) a zajistit podložkami (27). Dále pak horní plošinu s odstřelovačem namontovat na kulové čepy (10) a zasytit podložkou (24).

12 Technickoekonomické zhodnocení.

Polohovací manipulátor pro odstřelovací zařízení je velmi jednoduché konstrukce. Z toho vyplývá jednoduchá výroba a její náklady. Ekonomický faktor měl značný vliv na celkovou konstrukci jejího provedení - velikost, hmotnost apod.

Některé náklady na výrobu a jiné nepředpokládané výdaje byly z důvodu nedostatku informací stanoveny pouze odhadem. Celkové ekonomické zhodnocení je uvedeno v tabulce 8.

<i>Druh nákladu</i>	<i>Hodnota Kč</i>	<i>Počet kusů</i>	<i>Celkem Kč</i>
Lin.pohon LINAK	2 100	4	8 400
Disrupter	37 00	1	37 000
Křížové ložisko THK	1 400	1	1 400
Kulový čep THK	400	3	1 200
Ostatní náklady na výrobu	30 000	1	30 000
Nepředpokládané výdaje	10 000	1	10 000

Tabulka 8.

Z tabulky 8 vyplývá, že celkové náklady na výrobu polohovacího manipulátoru jsou 88 000 Kč,-

Ekonomické zhodnocení vyobrazené v tabulce 8 ukazuje, že největší položkou je samotný odstřelovač. K nákladům na výrobu se také musí připočítat ceny potřebných dílů řízení, ty jsou uvedeny v tabulce 9.

<i>Druh nákladu</i>	<i>Hodnota Kč</i>	<i>Počet kusů</i>	<i>Celkem Kč</i>
PC	20 000	1	20 000
MIKROSPÍNAČE	17	3	51
KAMERA	1 200	1	1 200
AV VYSÍLČ + PŘIJÍMAČ	1 170	1	1 170
GYROSKOP	815	1	815
MIRKOPROCESOR +D-DESKA	400	1	400
IGBT TRANZISOR	20	4	80
EXTERNÍ TV KARTA	2 200	1	2 200
BLUETOOTH MODUL	990	1	990
LASEROVÝ SNÍMAČ POLOHY	1 100	1	1 100

Tabulka 9.

Z tabulky 9 plyne, že náklady na zajištění řízení činí 28 000 korun. V součtu jsou tedy náklady na polohovací manipulátor 116 000 korun. Lze předpokládat, že cena plně funkčního modelu se bude pohybovat okolo 150 000 až 200 000 korun.

13 Hodnocení a závěr.

Úkolem této diplomové práce bylo navrhnout konstrukční řešení polohovacího manipulátoru pro odstřelovací zařízení nebezpečných objektů. Důležitým bodem byla analýza možností pro nasazení zásahových robotů při destrukci nebezpečných objektů a analýza různých typů odstřelovacích zařízení, které ovlivnili konstrukci polohovacího manipulátoru. Ze získaných poznatků byly navrženy dvě varianty řešení polohovacího manipulátoru, ze kterých byla vybrána pomocí hodnotové analýzy optimálnější varianta. Tato varianta byla dále detailně rozpracována.

Polohovací manipulátor byl navržen pro dekompozici nebezpečných objektů. Je umístěn na pásovém podvozku robotu vyrobeném na katedře robototechniky VŠB-TUO v Ostravě.

Zaměřování a následný odstřel řídí proškolená obsluha z operátorského stanoviště opatřeného PC, ke kterému jsou připojeny potřebné řídicí prvky. Vizualizaci zajišťuje kamera umístěna na pohyblivé plošině manipulátoru pro přesnější zaměřování. Operátor tak svými pokyny v PC přímo ovládá pohyb manipulátoru a následný odstřel.

Základem polohovacího manipulátoru je paralelní kinematická struktura o třech stupních volnosti. Náklon horní pohyblivé plošiny má dva stupně volnosti, a to rotaci kolem horizontálních os x a y . Tento pohyb zajišťují tři teleskopické vzpěry umístěné na jedné roztečné kružnici, které jsou pootočený a 120^0 . Základ těchto teleskopických vzpěr tvoří lineární aktuator LINAK se zdvihem 50 mm, což vyhovuje požadavkům na náklon horní plošiny o 30^0 . V případě potřeby většího rozsahu pohybu stačí použití LINAKU s větším zdvihem, který je až 200 mm. Teleskopické vzpěry mohou nezávisle na sobě měnit svůj zdvih a tím je zajištěna rotace kolem horizontálních os. Nevýhodou lineárního aktuatoru LINAK je, že nemají zpětnou vazbu. To znamená, že je zapotřebí použití snímačů a čidel pro měření velikosti zdvihu. To zvyšuje celkovou cenu manipulátoru, která

byla jedním z hlavních aspektů při konstrukci. V konečném součtu, ale cenu razantně snižuje cena právě lineárních aktuatoru LINAK, které jsou oproti konkurenčním aktuatorum podstatně levnější. Třetí stupeň volnosti, což je rotace celého manipulátoru na podvozku, zajišťuje lineární pohon, také s využití aktoatoru LINAK se zdvihem 100 mm. Rychlost polohování je maximálně 38 mm/s. U tohoto manipulátoru byla s ohledem na dynamické účinky zvolena na 25 mm/s. To znamená, že při zdvihu aktuatoru 50 mm je čas z jedné krajní polohy do druhé, 2 sekundy. Tím je zajištěno splnění požadavků na rozsah pohybu a rychlost zaměřování polohovacího manipulátoru

Manipulátor je opatřen vodním disrupterem RE 12-20R od firmy CHEMRING EOD. Výhodou tohoto odstřelovače je, že je bezzákluzový a nepřenáší žádný zpětný ráz. Tím může být aplikován i na konstrukce s nižší tuhosti. Nevýhodou je cena odstřelovače, která tvoří nejvýraznější položku v celkovém ekonomickém zhodnocení.

Polohovací manipulátor pro odstřelovací zařízení byl navržen za účelem jednoduchého zaměřování a odstřel nebezpečných objektů. Lze aplikovat na více typů podvozku robotu s ohledem na zajištění jeho rotace. Rozsah pohybu lze také popřípadě zvětšit použitím lineárních akutatoru s větším zdvihem. Systém řízení a senzoriky je zde uveden jen jako jedna z více možností a mohl by být předmětem pro další práci.

14 Seznam použité literatury.

- [1.] SKAŘUPA, J. *Metodika konstruování. 1. vyd.* Ostrava: VŠB-TU v Ostravě, 1993. 149s. Fakulta strojní. ISBN 80-7078-167-X.
- [2.] SKAŘUPA, J. *Kreativita a inovační myšlení v konstruování. 1. vyd.* Ostrava: VŠB-TU v Ostravě, 2007. 230s. Fakulta strojní. ISBN 978-80-248-171-0.
- [3.] SKAŘUPA, J. – MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů. 1. vyd.* Košice: Edice odborné a vědecké literatury – Strojní fakulta TU v Košicích, 2002. S190. ISBN 80-88622-55-0
- [4.] VÁVRA, P. - LEINVEBER, J. - ŘASA, J. *Strojírenské tabulky. 3. vyd.* Praha: Scientia, 2000. 985s. ISBN 80-7183-164-6.
- [5.] KLEČKA, J. - FOŘT, P. *Technické kreslení. 1. vyd.* Brno: CP Books, 2005. 252s. ISBN 80-251-0498-2.
- [6.] TOTA, M. *Konstrukční řešení efektoru pro destrukci různých překážek.* Ostrava, 2008. Bakalářská práce (Bc). 84s. VŠB-TU-Ostrava, Fakulta strojní. Katedra robototechniky.
- [7.] POLÁK, D. *Konstrukční návrh servisního robotu s plazivým pohybem určeného k monitorování.* Ostrava, 2006. Diplomová práce. 75s. VŠB-TU-Ostrava, Fakulta strojní. Katedra robototechniky.
- [8.] www.linak.cz
- [9.] www.telerob.de
- [10.] www.chemringeod.com
- [11.] www.antiterrorism.com.pl
- [12.] www.proparms.com
- [13.] www.mmspektrum.com
- [14.] www.thk.com
- [15.] www.igus.cz
- [16.] www.ferona.cz
- [17.] www.micro-epsilon.cz
- [18.] www.deramax.cz
- [19.] www.alfacomp.cz
- [20.] www.gme.cz

- [21.] www.pvelectronic.inshop.cz
[22.] www.spezial.cz

Odkazy použitých obrázků.

- [1.] www.pacific.edu
[2.] <http://robot2.vsb.cz>
[3.] www.chemringeod.com
[4.] www.antiterrorism.com.pl
[5.] www.telerob.de
[6.] www.proparms.com
[7.] www.alioindustries.com
[8.] ww.prlog.org
[9.] www.parallemic.org

15 Seznam příloh.

Příloha č. 1: Lineární aktoator LINAK – LA22

Příloha č. 2: Disrupter RE 12-20R

Příloha č. 3: Kulový čep THK

Příloha č. 4: Křížové ložisko THK

Příloha č. 5: Kluzné ložisko IGUS

Příloha č. 6: Otočný čep – Kontrolní výpočet

Příloha č. 7: Senzorika a řízení:

- 1) Mikroprocesor ATMEL ATmega16
- 2) Mikrospínač SM 05 S 02 B
- 3) Gyroskop IDG500
- 4) IGBT tranzistor
- 5) Bluetooth RS232 OEM adapter
- 6) Kamera F-OS-285CL
- 7) AV vysílač+přijímač
- 8) Externí TV-karta Pinnacle Studio MovieBox Ultimate 14
- 9) Laserový snímač polohy optoNCDT 1700

Příloha č. 8: Přiložené CD